



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VADY PŘI VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ

DEFECTS AT INJECTION MOLDING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Petr Kuchař

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Ladislav Žák, Ph.D.

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Petr Kuchař**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Ladislav Žák, Ph.D.**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a
zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Vady při vstřikování plastů

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce bude zaměřena na literární studii vad výrobků při vstřikování termoplastů.

Cíle bakalářské práce:

1. Literární studie dané problematiky.

Seznam doporučené literatury:

KOLOUCH, Jan. Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1986.

ŘEHULKA, Zdeněk. Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů. Praha : SEKURKON s.r.o., 2008. ISBN 978-80-86604-36-7. 228 s.

ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů. 1.vydání. Praha: BEN – technická literatura, 2009, ISBN 978-8-7300-250-3

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

KUCHAŘ Petr: Vady při vstřikování plastů.

Cílem této bakalářské práce byla literární studie vad výrobků při vstřikování termoplastů. V první části této práce byla provedena studie samotné technologie vstřikování. Ve druhé části je práce zaměřena na studii vad provázejících proces vstřikování plastů, jejich rozdělení, popisem, příčinám vzniku a možnostem opravy. Mezi nejvíce problematické zjevné vady provázející proces vstřikování plastů patří studený spoj a vady s ním související, u skrytých vad je to pak zejména vnitřní pnutí. Jednotlivé vady jsou pro větší přehlednost a názornost doplněny o vhodné obrázky a tabulky, kde jsou více rozebrány příčiny vzniku a možnosti opravy konkrétních závad.

Klíčová slova: vstřikování plastů, polymery, vady, studený spoj, vnitřní pnutí

ABSTRACT

KUCHAŘ Petr: Defects at injection molding.

The aim of this bachelor thesis was a literary study of defects created in the injection molding process of plastic materials. The study of the injection technology itself was carried out in the first part of this work. Second part of this thesis is focused on the study of defects accompanying the plastic injection process, their distribution, description, causes of the origin and possibilities of repair. Among the most problematic obvious defects accompanying the plastic injection process are the weld lines and the defects associated with. In the case of hidden defects, it is particularly internal tension. The individual defects are supplemented by suitable pictures and tables for more clarity and transparency, where the causes of the origin and the possibility of repairing specific defects are more analyzed.

Keywords: injection molding of plastic materials, polymers, defects, weld lines, inner tension

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KUCHAŘ, P. *Vady při vstřikování plastů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 44 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Ladislav Žák, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V dne 26.5.2017

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Ladislavu Žákovi, Ph.D. za možnost vypracovat tuto bakalářskou práci pod jeho vedením. Dále bych chtěl poděkovat rodině za veškerou podporu při studiu.

OBSAH

ZADÁNÍ

ABSTRAKT

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

PODĚKOVÁNÍ

OBSAH

ÚVOD	10
1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ	11
1.1 Materiály pro vstřikování	11
1.1.2 Rozdělení polymerních materiálů	12
1.2 Vstřikování termoplastů	13
1.2.1 Vstřikovací cyklus	14
1.2.2 Smrštění termoplastů	16
1.2.4 Vtokové systémy	19
1.2.4 Vstřikovací stroj	20
2 VADY VÝSTŘÍKŮ	22
2.1 Rozdělení vad výstřiků	22
2.2 Příčiny vzniku vad	23
2.2.1 Konstrukce vstřikovací formy	23
2.2.2 Konstrukce výstřiku	23
2.2.3 Vstřikovací stroj	24
2.2.4 Zpracováváný materiál	24
2.2.5 Technologické parametry procesu	25
2.3 Vady zjevné - vady tvaru, rozměrové vady	25
2.4 Vady zjevné - vzhledové vady	32
2.4.1 Tmavé body a šmouhy na povrchu výstřiku	33
2.4.2 Studené tokové linie (proudnice), tokové čáry	34
2.4.3 Rýhovaný povrch, vzhled gramofonové desky, pomerančové kůry	35
2.5 Vady skryté	36
2.5.1 Vnitřní pnutí	36
2.5.2 Nerovnoměrná orientace makromolekul a plniv	38
2.5.3 Strukturní nehomogenita výstřiků	38

2.5.4 Skryté vady netransparentních polymerů	38
5 ZÁVĚRY	39
5 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	40
5 SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	42
5 SEZNAM OBRÁZKŮ	43
5 SEZNAM TABULEK	44

ÚVOD [4], [5]

Polymerní materiály zažívají v posledních desetiletích obrovský rozvoj a používají se v podstatě ve všech průmyslových odvětvích. Polymery zahrnují širokou škálu chemického složení, různou vnitřní stavbu struktury a pochopitelně různé mechanicko-fyzikální vlastnosti. Možnosti využití výrobků z polymerních materiálů se táhnou přes automobilový, letecký, vojenský a potravinářský průmysl.

Co se týče zpracování, představuje technologie vstřikování jednu z nejdůležitějších a vůbec nejrozšířenějších technologií, která se při zpracování polymerních materiálů využívá. Bohužel i tuto technologii, stejně jakou každou jinou, provází celá řada vad a defektů, s kterými musíme při výrobním procesu plastového výrobku počítat.

Tato práce se zabývá popisem jednotlivých vad při vstřikování plastů, jejich rozdělením, příčinami vzniku a možnostem opravy.

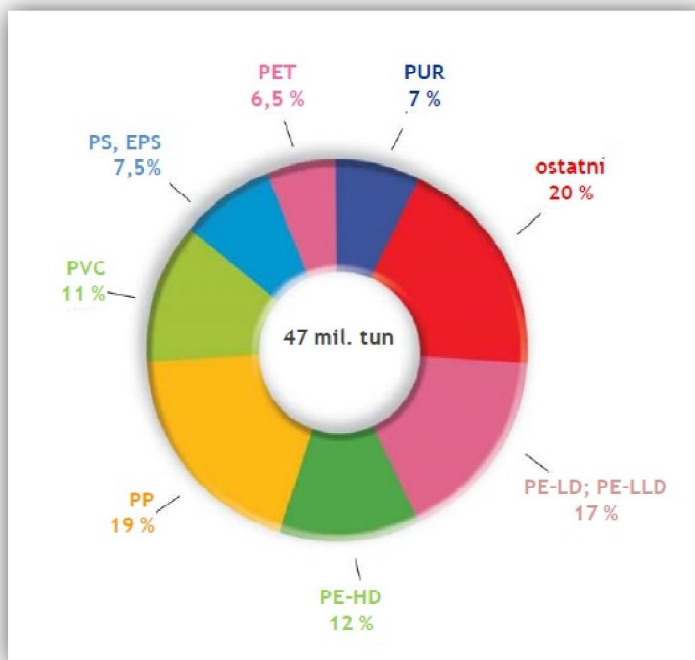
1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [18], [19]

1.1 Materiály pro vstřikování [2], [3], [4], [6]

V současné době existují na trhu tisíce různých plastových materiálů. V technické praxi se však uplatňuje jen několik desítek druhů plastů. Stojí přitom za zmínku, že 73 % z celkové produkce plastových materiálů představuje pouze 5 druhů plastů a to polyethylen (PE), polypropylen (PP), polystyren (PS) polyvinylchlorid (PVC) a polyethyltereftalát (PET). Sortiment plastových materiálů neustále roste, ať už to je výroba stále nových polymerů či modifikace dosavadních plastových materiálů. Tento růst počtu materiálů má své výhody při konstrukci a výrobě dílů z plastových materiálů, aniž by docházelo k výrazné změně ceny. Na druhé straně to představuje vyšší nároky na znalosti konstruktérů.

Při volbě plastového materiálu je potřeba mimo ceny materiálu a jeho vlastností vzít v potaz i jeho zpracovatelnost, která výrazně ovlivňuje mechanické a fyzikální vlastnosti finálního výrobku, ale i technologické podmínky, volbu stroje a konstrukční řešení nástroje. Vlastnosti a odolnost polymerů jsou dány jejich chemicko-fyzikální strukturou, ale mohou být ovlivněny i zpracovatelským procesem.

Mezi výhody plastových materiálů patří výborné zpracovatelské vlastnosti, nízká měrná hmotnost, plasty jsou elektrické izolanty, mají výbornou korozní odolnost, tlumí rázy a chvění, atd. Nevýhodou jsou nízké mechanické a časově závislé vlastnosti, ekologická zatížitelnost, apod.



Obr. 1 Evropská spotřeba plastů dle jejich typů, 2011 [6]

1.1.1 Příprava polymerních materiálů [3]

Synteticky připravované makromolekulární látky vznikají polyreakcemi (polymerace, polykondenzace a polyadice). Jedná se v podstatě o mnohonásobně se opakující velmi jednoduché chemické reakce, kdy se z původní nízkomolekulární sloučeniny monomeru stává vysokomolekulární látka zvaná polymer. Plastem se polymer stává poté, co ho smísíme

s nezbytnými přísadami a převedeme ho do formy vhodné k dalšímu technologickému zpracování, např. do formy plastových granulí. Polymer tedy představuje chemickou látku, zatímco plast technický materiál, který musí mít vhodné užitné vlastnosti.

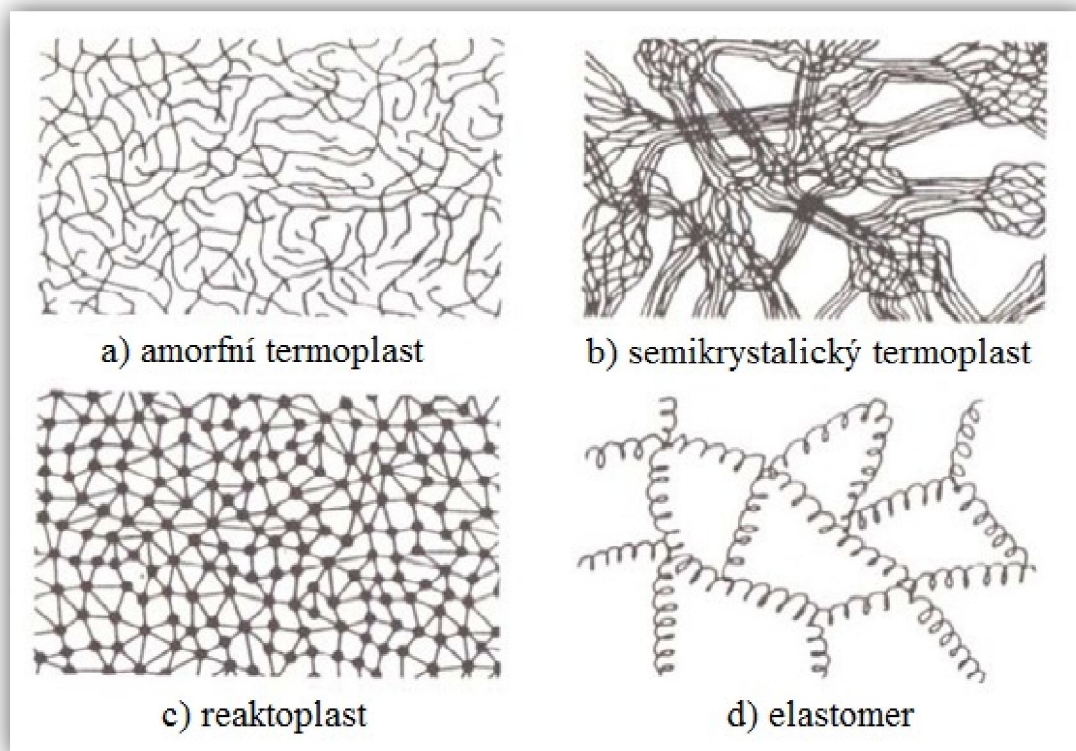
1.1.2 Rozdělení polymerních materiálů [3], [4]

Polymery dělíme do dvou základních skupin - na plasty a elastomery. Polymery je možné dále rozdělovat dle mnoha různých kritérií. Mezi další základní rozdělení patří dělení na základě chování při zahřívání, a to na:

- **Termoplasty** - jedná se o polymerní materiály, které při zahřívání přechází do plastického stavu a lze je tedy tvářet. Do oblasti taveniny přechází zahřátím nad teplotu tání. Zpětným ochlazením pod tuto teplotu přechází opět do tuhého stavu. Při zahřívání neprobíhá chemická reakce a nemění se jejich chemická struktura. Změny, kterými materiál prochází, mají pouze fyzikální charakter a proces měknutí a tuhnutí je vratný (lze jej opakovat). Termoplasty mohou být amorfní i semikrystalické. K termoplastům patří většina zpracovávaných plastických hmot, jako např. polyethylen (PE), polypropylen (PP), polystyren (PS), polyvinylchlorid (PVC), polyamid (PA), atd.
- **Reaktoplasty** - jedná se o polymerní materiály, které jsou tavitelné a tvarovatelné jen určitou dobu po zahřátí. Během dalšího zahřívání totiž dochází k chemické reakci - prostorovému zesíťování struktury, k tzv. vytvrzování. Tento děj je nevratný a vytvrzené plasty nelze znovu roztavit ani rozpustit, dalším zahříváním dojde k rozkladu hmoty (degradaci). Reaktoplast je amorfním polymerem. Výrobky z reaktoplastů se vyznačují vysokou chemickou a tepelnou odolností, tvrdostí a tuhostí. Patří sem fenolformaldehydové hmoty, epoxidové pryskyřice, polyesterové hmoty, apod.
- **Kaučuky, pryže a elastomery** - jedná se o polymerní materiály, které rovněž v první fázi zahřívání měknou a lze je tedy tvářet, avšak pouze omezenou dobu, protože během dalšího zahřívání dochází k chemické reakci - prostorovému zesíťování struktury, probíhá tzv. vulkanizace. U elastomerů na bázi termoplastů nedochází ke změnám chemické struktury, proces měknutí a následného tuhnutí lze tedy opakovat, probíhá zde pouze fyzikální děj.



Obr. 2 Příklady aplikací a) termoplastů, b) reaktoplastů [4]



Obr. 3 Nadmolekulární struktura polymerů [3]

1.2 Vstřikování termoplastů [1], [2], [3], [5], [7], [8], [18], [19]

Vstřikování je způsob tváření plastů, při kterém je dávka zpracovávaného materiálu vstříknuta pod velkým tlakem a velkou rychlostí do uzavřené dutiny kovové formy, kde ztuhne ve finální výrobek. Tato dutina má tvar negativu konečného výrobku, který nazýváme výstřik. Vstřikováním se vyrábějí jednak výrobky konečného charakteru, ale také polotovary a díly určené k dalšímu zakompletování do složitějších celků. Technologie vstřikování je nejrozšířenější technologií na zpracování plastů, jedná se o cyklický a diskontinuální proces. Vstřikováním se můžou zpracovávat téměř všechny druhy termoplastů, ale i některé reaktoplasty a elastomery.

Mezi hlavní výhody vstřikování patří vysoká variabilita vstřikovaných materiálů, krátký čas vstřikovacího cyklu, možnost vstřikovat i velmi složité díly při dodržení výrobních tolerancí, vysoká reprodukovatelnost mechanických a fyzikálních vlastností, snadná automatizovatelnost výroby, atd. Nevýhodou jsou vysoké pořizovací náklady jak vstřikovacího stroje, tak vstřikovacího nástroje, neúměrná velikost strojního zařízení vůči konečnému výrobku, dlouhá výroba vstřikovacích forem a taky vysoká odborná znalost zaměstnanců. Tato technologie je tedy vhodná zejména pro velkosériovou výrobu, kde se náklady mohou vrátit i za několik let.

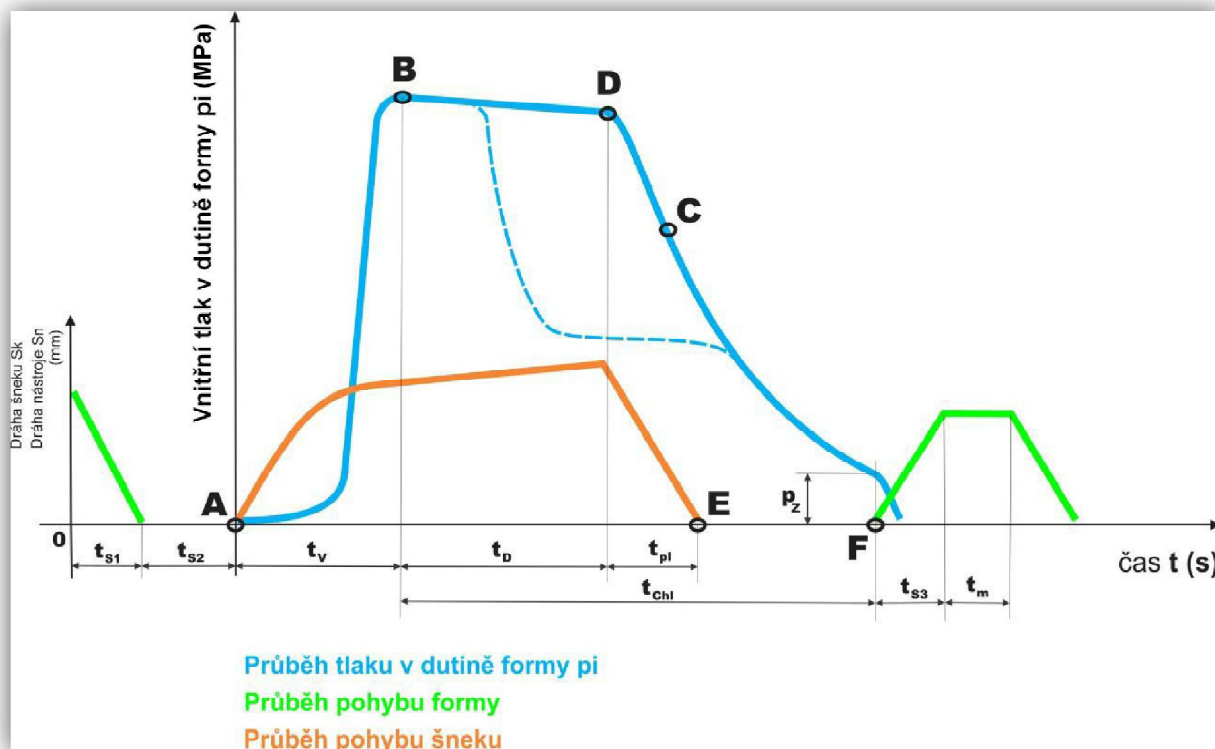


Obr. 4 Příklad tvarově složitého dílu světlometu [9]

1.2.1 Vstřikovací cyklus [3], [5]

Vstřikovací cyklus je tvořen několika přesně stanovenými postupnými kroky (fázemi), které se svou činností podílí na výrobě vstřikovaných dílů. Jedná se o proces, během něhož plast prochází teplotním a tlakovým cyklem. Pro popis vstřikovacího cyklu je nutné jednoznačně zadefinovat jeho počátek. Jako počátek lze s výhodou považovat okamžik odpovídající impulsu k uzavření vstřikovací formy.

Jedna z možností popisu vstřikovacího cyklu je časová závislost vnitřního tlaku p_i v dutině formy během jednotlivých cyklů vstřikování.

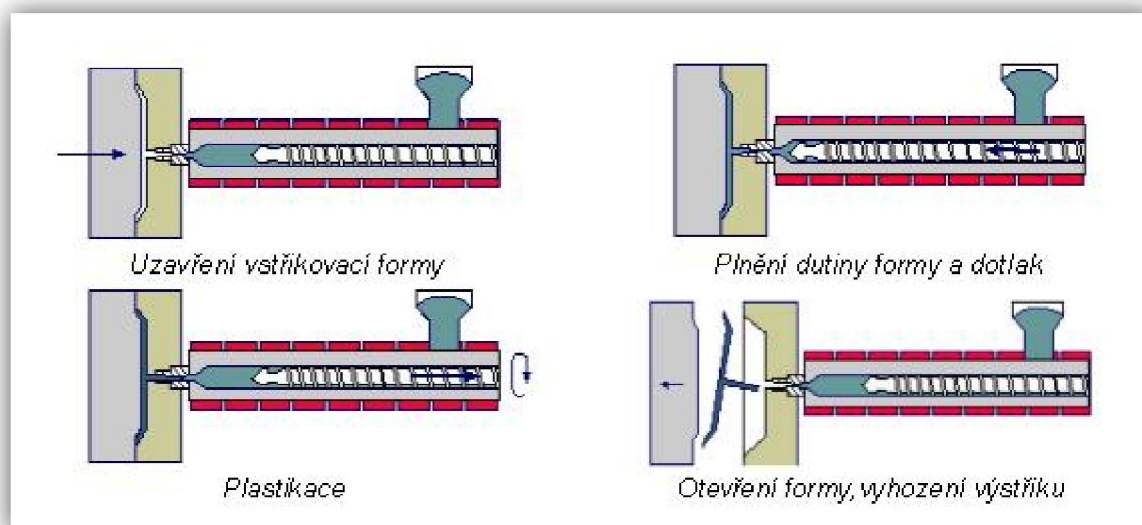


Obr. 5 Průběh vnitřního tlaku p_i v dutině formy během procesu vstřikování [5]

- **Uzavření dutiny formy** - na počátku vstřikovacího cyklu je dutina formy prázdná a forma je otevřená. V nulovém čase dostane stroj impuls k zahájení vstřikovacího cyklu. V časovém úseku t_{s1} se pohyblivá část formy přisune k pevné, forma se zavře a „uzamkne“. Tyto činnosti odlišujeme, neboť na přisouvání formy se musí vynaložit jen malá přisouvací síla F_p , zatímco na uzamknutí vynaložíme značně vyšší uzavírací sílu F_u (až třikrát vyšší). Tím zaručíme, že se forma vlivem tlaku taveniny při vstřikování neotevře. Čas t_{s2} odpovídá přisouvání vstřikovací jednotky stroje ke vstřikovací formě. Dnes už během cyklu vstřikovací jednotku po prvním přisunutí neodsouváme. Časové úseky t_{s1} a t_{s2} jsou časy strojní.
- **Plnění dutiny formy** - v bodě A se dává do pohybu šnek v tavicí komoře a začíná vlastní vstřikování roztavené hmoty (plnění) do dutiny vstřikovací formy. V této fázi šnek vykonává pouze axiální pohyb, neotáčí se a plní funkci pístu. Po naplnění formy je tavenina v dutině ještě stlačena a tlak tak dosáhne maximální hodnoty.

Tento děj končí v bodě B. Objem taveniny plastu dosahuje kolem 95 % objemu dutiny vstřikovací formy.

- **Chlazení** - jakmile tavenina vteče do dutiny formy, ihned začne předávat teplo vstřikovací formě a začne chladnout. Chlazení trvá až do otevření formy a vyjmutí (vyhození) výstřiku ze vstřikovací formy. Tato doba se nazývá doba chlazení a je označena t_{chl} . Doba chlazení je nejvíce závislá na teplotě formy a tloušťce stěny výstřiku. Při odformování musí být teplota výstřiku taková, že nedojde k propíchnutí výstřiku vyhazovačem.
- **Dotlak** - během chladnutí se hmota smršťuje a zmenšuje svůj objem. Aby se zabránilo tvoření propadlin či staženin na výstřiku, je nutné kompenzovat zmenšování objemu dodatečným dotlačením taveniny do dutiny formy. Dotlak je tedy důležitý pro snížení smrštění a rozměrových změn. Tento úsek cyklu se nazývá doba dotlaku a značí se t_d . Jako velmi důležité považujeme pohledání bodu přepnutí mezi fází plnění a fází dotlaku (bod B), neboť v případě brzkého přepnutí bude tlak v dutině příliš nízký (vznik propadlin a staženin). Naopak pozdní dotlak vyvolá příliš velký tlak v dutině a dochází tak ke vzniku vnitřního pnutí u výstřiku. S vyšším tlakem roste také opotřebení formy. Dotlak může být po celou dobu stejně vysoký jako maximální tlak nebo se může po několika sekundách snížit a další chladnutí probíhá při sníženém tlaku, viz obr. 5. Dotlak se proto rozděluje na izobarický (konstantní tlak) a izochorický (konstantní objem). Dotlačování probíhá působením čela šneku na objem plastového polštáře. Tento objem nesmí být moc velký, aby nedocházelo k tepelné degradaci hmoty. Objem polštáře závisí na velikosti výrobku. Doba dotlaku trvá až do bodu D. Bod C označuje okamžik zatuhnutí roztavené hmoty ve studeném vtokovém kanálu.
- **Plastifikace materiálu** - po dotlaku následuje fáze plastikace nové dávky vstřikovaného materiálu (časový úsek t_{pl} končící v bodě E). Šnek se začne otáčet a současně posouvat vzad, přičemž musí překonávat tzv. protitlak neboli zpětný tlak. Výška protitlaku ovlivňuje dobu plastikace a tím i kvalitu prohnětení roztaveného plastu. Příliš vysoký protitlak by však mohl způsobit až degradaci plastu. Pod násypkou nabírá materiál ve formě plastových granulí, materiál se plastifikuje a vtlačuje do prostoru před čelem šneku. Současně ustupuje dozadu, přičemž musí překonávat tzv. protitlak neboli zpětný tlak. Na ohřev plastu během plastifikace má největší vliv teplo, které vzniká díky tření mezi granulátem a šnekem či komorou. Další teplo vzniká přeměnou hnětací práce šneku v teplo a v neposlední řadě teplo od topení vstřikovací komory.
- **Otevření dutiny formy, vyhození výstřiku** - během pokračující fáze chlazení tlak ve vstřikovací formě klesá až na hodnotu zbytkového tlaku p_z , což je tlak, pod nímž se výstřik nachází ve formě těsně před jejím otevřením. V bodě F se vstřikovací forma otevře a výstřik se pomocí vyhazovačů vyhodí z formy. Na tuto operaci je potřeba strojní doba t_{s3} . Je-li výstřik vyjímán z formy robotem, je k tomu navíc vymezena manipulační doba robota t_m . Tato doba se může také využít například k zakládání kovových zálsků.



Obr. 6 Schéma vstřikovacího cyklu [3]

1.2.2 Smrštění termoplastů [1]

U každého vstřikovaného dílu platí, že rozměry výstřiku po vyhození z formy jsou jiné než rozměry po určité době od jeho výroby, resp. po jeho skladování. Tyto rozměrové změny jsou přičítány většinou smrštění nebo deformaci. Tady ovšem musíme rozlišovat, neboť mezi těmito dvěma pojmy je značný rozdíl a deformace může být taky jedním z projevů smrštění.

- **Smrštění** - nežádoucí vlastnost vyskytující se u všech druhů plastů. Jedná se o objemovou změnu při tuhnutí polymerních tavenin z důvodu stlačitelnosti, tepelné rozpínavosti a kontrakce plastů. U částečně krystalických plastů taky z důvodu krystalizačních změn.
- **Deformace** - jedná se o změnu tvaru při konstantním objemu výstřiku.

Je samozřejmé, že výsledný vstřikovaný dílec musí dodržet požadované rozměry včetně rozměrových tolerancí, ale i tolerance tvaru a polohy. Tvarová dutina formy musí být tedy o příslušné smrštění v daném místě větší. Toto je ovšem v praxi velmi obtížně realizovatelné a to z důvodu velkého množství faktorů ovlivňující smrštění. Jako základní faktory uveďme:

- procesní parametry výroby - časy, tlaky, teploty,
- typ a vlastnosti zpracovávaného materiálu,
- konstrukce výstřiku a formy - zejména tloušťka stěn výstřiku.

Z výše uvedených informací nám vyplývá, že smrštění je důležitý faktor ovlivňující výsledný výstřik a nesmíme jej opomenout.

Jako příklad výpočtu smrštění uvedu vzorec pro výpočet výrobního objemového smrštění:

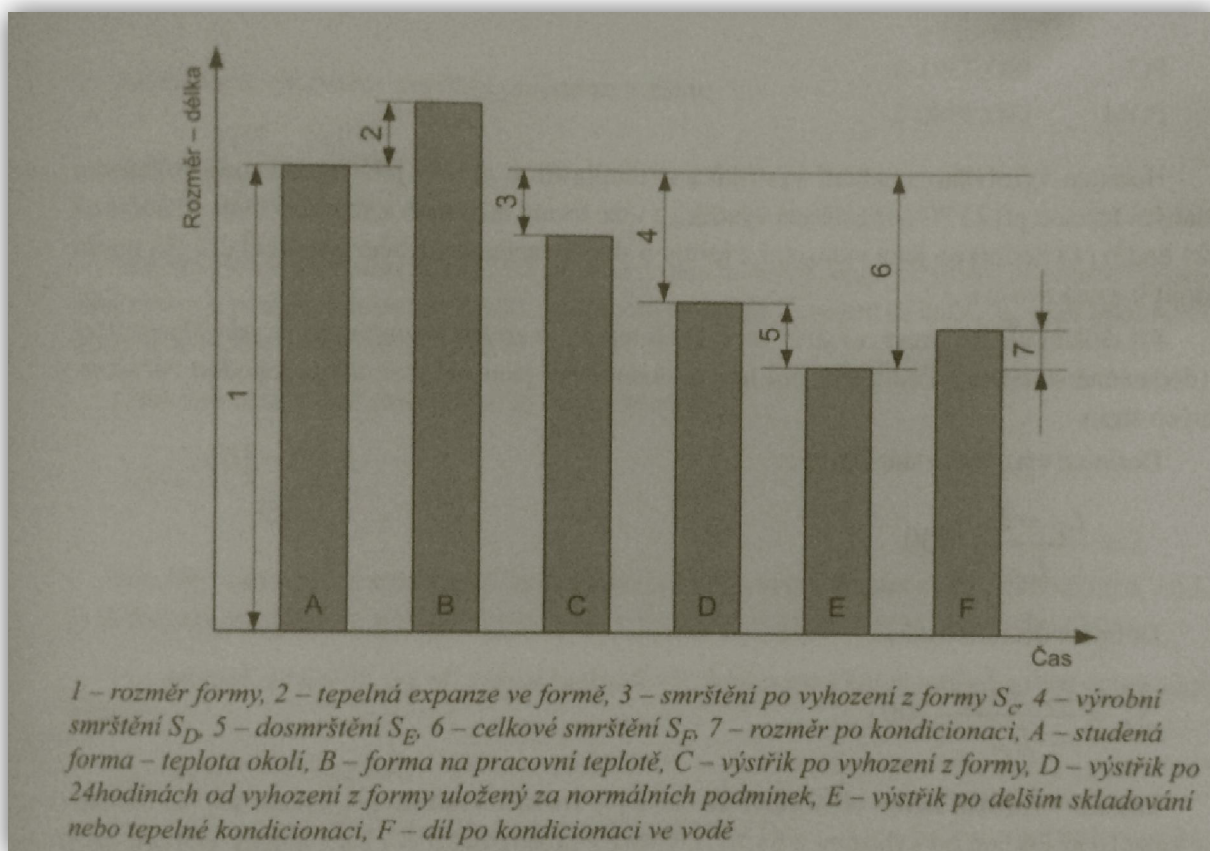
$$S_{VV} = \frac{V_F - V_V}{V_F} \cdot 100, \quad (1.1)$$

kde: S_{VV} - výrobní objemové smrštění [%]

V_F - objem tvarové dutiny formy za teploty 23° [mm³]

V_V - objem výstřiku za teploty 23° [mm³]

Zde bych ještě dodal, že smrštění ve směru tloušťky stěny $S_{TL} = (0,9 \text{ až } 0,95) \cdot S_{VV}$ oproti smrštění ve směru délky nebo šířky $S_{D/S} = (0,1 \text{ až } 0,05) \cdot S_{VV}$.



Obr. 7 Změna rozměru výstřiku v závislosti na čase v důsledku smrštění [1]

1.2.3 Vstřikovací forma [3], [8], [19]

Vstřikovací forma je nástroj, který se upíná mezi upínací desky uzavírací jednotky vstřikovacího stroje. V průběhu vstřikovacího cyklu je tvarová dutina formy naplněna roztaveným materiálem. Po vychladnutí máme konečný výrobek s požadovaným tvarem a funkčními vlastnostmi. Forma během své životnosti musí splňovat tyto požadavky:

- odolávat vůči vysokým tlakům,
- zajistit požadovaný rozměr a kvalitu výstřiku,
- snadné vyjmutí výstřiku, snadná obsluha a automatický provoz,
- nízká pořizovací cena,
- snadná a rychlá výroba,
- vysoké využití zpracovávaného plastu.

kovací formy jsou konstrukčně velmi rozmanité a lze je rozdělit do následujících

- Jednotlivé části vstřikovacích forem rozdělujeme z hlediska funkce do dvou kategorií a to na části konstrukční a na části funkční. Konstrukční části zabezpečují správnou činnost nástroje zatímco části funkční se stýkají s tvářeným materiálem a udělují mu požadovaný tvar. Samotná vstřikovací forma se skládá z mnoha dílů a lze je rozdělit do několika skupin:

-
- Diagram illustrating the components of a mold assembly, labeled in Czech:
- Vyhazovač
 - Vtokový vyhazovač
 - Podložná deska
 - Vyhazovací deska
 - Upínací deska
 - Tvárník
 - Hlavní vtokový kanál
 - Vtoková vložka
 - Vtokové ústí
 - Rozváděcí kanál
 - Vstříkovaný díl
 - Tvárnice

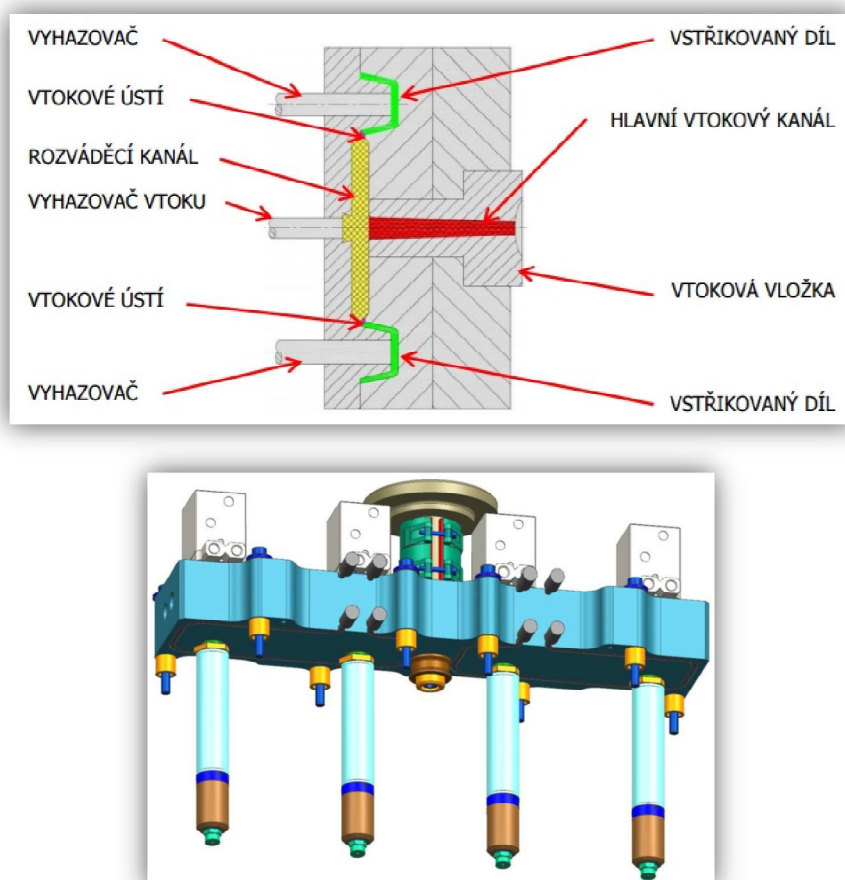
18

1.2.4 Vtokové systémy [7], [8], [18]

Kvalitu a jakost výstřiku spolu s produktivitou výroby nejvíce ovlivňuje vtokový systém, což je systém kanálů a ústí vtoku, jenž má za úkol zajistit správné naplnění dutiny formy v co nejkratším možném čase a s minimálními odpory, snadné oddělení od výstřiku a snadné vyhození vtokového zbytku.

Vtoková soustava se navrhuje podle tvaru výsledného výstřiku, počtu tvarových dutin, jejich rozmístění a podle toho, zda bude konstruována jako studený nebo horký rozvod. U vícenásobných vstřikovacích forem je nejdůležitějším požadavkem, aby všechny tvarové dutiny byly plněny současně a při stejných technologických podmínkách, což znamená při stejné teplotě taveniny a při stejném vnitřním tlaku. Z hlediska konstrukce je velmi složité navrhovat tyto rozvody u vícenásobných forem, kdy každá dutina má jiný tvar. V praxi se využívají softwary (Mold Flow), které dokážou simulovat průběh plnění jednotlivých dutin, čímž se můžou některé nedostatky eliminovat již v počátku konstrukce.

Vtokové systémy rozdělujeme na horké a studené (viz Obr. 9). Mezi výhody horkého vtoku patří časové zkrácení vstřikovacího cyklu, netřeba výroby vtokových kanálů, výrazné zmenšení tlakových ztrát (absence vtokových kanálů), menší uzavírací síla stroje, regulací teploty můžeme ovlivnit vlastnosti vstřikovaného dílce. Jako nevýhody považujeme náročnější konstrukční zástavbu do formy, větší pořizovací náklady, obtížné dodatečné změny polohy vtoků, nemožnost použití pro některé materiály s velkou citlivostí na teplo. Horké vtoky jsou tedy výhodné při velkosériové výrobě.



Obr. 9 Schéma studeného vtokového systému a příklad horkého vtoku uzavíratelného pomocí hydraulicky ovládaných jehel [18], [7]

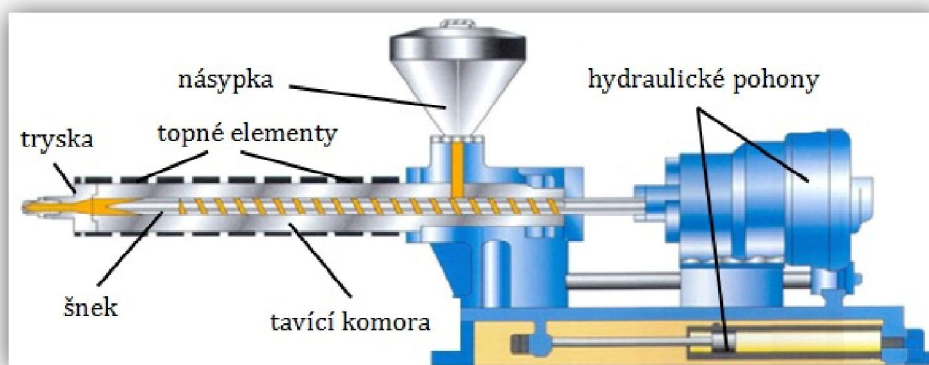
1.2.4 Vstřikovací stroj [2], [3], [5], [10], [11], [12]

V současné době existuje mnoho výrobců vstřikovacích strojů. Jednotlivé stroje se od sebe liší konstrukcí, stupněm řízení, ovládacími systémy, rychlostí výroby, způsobem obsluhy, cenou a schopností udržet stálost a reprodukovatelnost technologických parametrů vstřikování, což se považuje za obzvláště důležité.

Vstřikovací proces probíhá na moderních strojích většinou plně automaticky, takže se dosahuje vysoké produktivity práce. Pořizovací cena strojního zařízení i vstřikovací formy je však značně vysoká - technologie je proto vhodná pro velkosériovou výrobu.

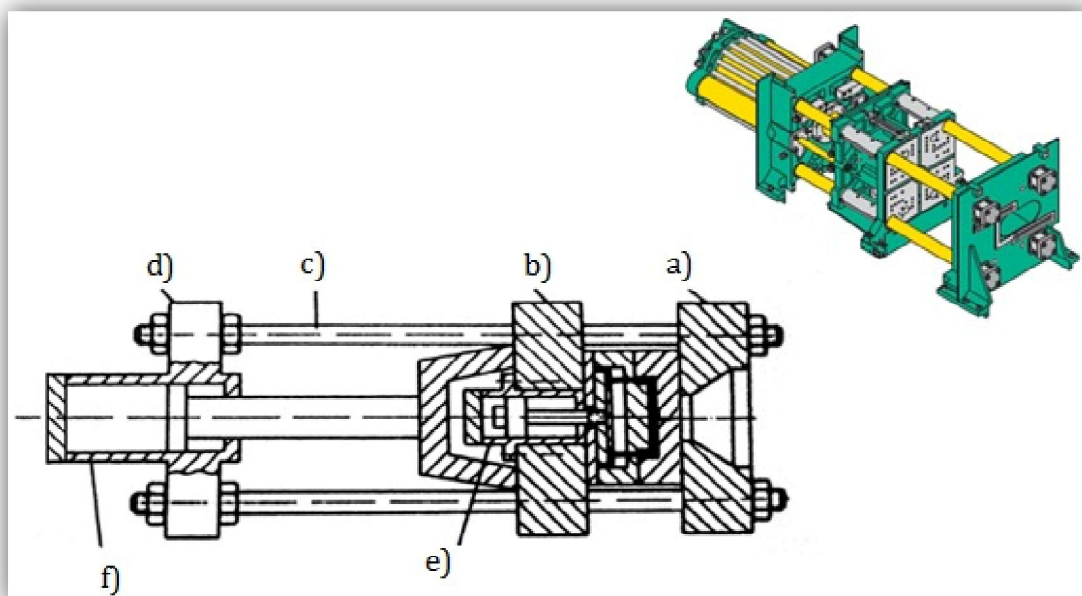
Vstřikovací stroj je tvořen vstřikovací jednotkou, uzavírací jednotkou a kontrolní a řídicí jednotkou. Každý výrobce vstřikovacích strojů je schopen dovybavit stroj o prvky zajišťující plně automatizovaný provoz. Mezi tyto prvky patří např. temperační zařízení, dávkovací a mísící zařízení, sušičky materiálu, manipulátory, roboty, dopravníky, atd.

- **Vstřikovací jednotka** plní dvě hlavní funkce - přeměňuje granulát plastu na homogenní taveninu o dané viskozitě a vstřikuje taveninu vysokou rychlostí a pod velkým tlakem do kovové dutiny vstřikovací formy. Mezi nejdůležitější části vstřikovací jednotky patří tavicí komora, šnek, tryska, topné elementy, topení vstřikovací jednotky, hydraulické pohony a násypka plastového granulátu. Vstřikovací jednotka je zakončena tryskou, která může být otevřená nebo uzavíratelná. Otevřené se používají u materiálů s větší viskozitou.



Obr. 10 Schéma vstřikovací jednotky [12]

- **Uzavírací jednotka** zavírá a otevírá formu dle procesu vstřikování a zajišťuje uzavření formy takovou silou, aby se při vstříknutí tlakem taveniny forma neotevřela. Při činnosti formy je nutno rozlišovat sílu přisouvací F_p , a sílu uzavírací F_u , viz kap. 1.2.1 (uzavření dutiny formy). Mezi hlavní části uzavírací jednotky patří pevná a pohyblivá upínací deska stroje, vodící sloupky (u sloupkových konstrukcí strojů) a mechanismus, který je zdrojem síly potřebné pro otevírání a uzavírání formy a který umožní vytvoření takové uzavírací síly, která působí proti vstřikovacímu tlaku a drží formu uzavřenou během fází vstřiku a dotlaku. Uzavírací jednotky mohou být mechanické, hydraulické, mechanicko-hydraulické nebo v dnešní době již taky elektrické.



Obr. 11 Hydraulická uzavírací jednotka - (a) pevná část formy, (b) pohyblivá část formy, (c) vodící sloupky, (d) rám stroje, (e) hydraulický vyhazovač, (f) hydraulický válec pro ovládání pohyblivé části formy [12]

Vstřikovací a uzavírací jednotka mají vůči sobě určitou polohu. Nejčastější uspořádání je horizontální poloha vstřikovací i uzavírací jednotky, tedy vstřikování kolmo na dělicí rovinu vstřikovací formy. V některých případech však může dojít i k jiné vzájemné poloze, např. vstřikovací jednotka je kolmá na uzavírací jednotku (vstřikujeme tedy do dělicí roviny).

- **Kontrolní a řídicí jednotka** se významně podílí na schopnosti udržet stálost a reprodukovatelnost technologických parametrů vstřikování. Řízení stroje má být zajištěno vhodnými řídicími a regulačními prvky. Nové vstřikovací stroje se neobejdou bez výkonné procesorové techniky, neboť místo zastaralého textového nastavování technologických parametrů se dnes již využívá přehledného grafického řízení vstřikovacího cyklu (snadná kontrola a úprava jednotlivých parametrů).



Obr. 12 Vstřikovací stroj Engel [11]

2 VADY VÝSTŘÍKŮ [1], [5], [13], [14], [15], [16], [17]

Přes veškeré znalosti o polymerních materiálech, zvyšující se úrovni a kvalitě vstřikovacích strojů, jejich řídicích systémů a uplatnění počítačových softwarů, ať už při návrhu konstrukce vstřikovacích forem a samotných výstřiků či simulaci a optimalizaci vstřikovacího procesu nemůžeme vyloučit vady výstřiků spojené se samotným procesem vstřikování při sériové výrobě.

Vadou výstřiku rozumíme defekt, kterým se daný výstřik odlišuje vzhledem, rozměry, tvarem, ale také mechanickými nebo fyzikálními vlastnostmi od předem stanoveného standardu specifikovaného výkresem, referenčním vzorkem nebo schválenými přejímacími podmínkami.

V praxi jsou pro identifikaci a odstraňování vad na výstřicích velmi důležité odborné znalosti a zkušenosti seřizovačů a technologů, především znalosti o zpracovávaném materiálu, vstřikovacím stroji, znalosti konstrukce formy, a v neposlední řadě vliv technologických parametrů na kvalitu výstřiků. Počet vad, se kterými se běžně setkáváme a musíme s nimi v procesu vstřikování počítat je asi 40.

2.1 Rozdělení vad výstřiků [1], [13]

Soubor vad, které se můžou při vstřikování objevit nebo vzniknout, dělíme do dvou skupin a to na:

- **Vady zjevné** - takové vady, které lze zjistit již přímým vizuálním kontaktem porovnáním s referenčním dílcem. Zjevné vady dále rozdělujeme na vady tvaru a vady povrchu. Mezi vady tvaru patří například propadliny, nedostříknuté díly, přetoky, ořepy, zvlnění, vrstvení a delaminace, stopy po vyhazovačích, deformace. Mezi vady povrchu pak řadíme nerovnoměrný lesk, matná místa, stopy po vlhkosti, stopy po jiném či zdegenerovaném materiálu, poškozený dezén, různé škrábance, šmouhy, spáleniny, atd.
- **Vady skryté** - vady, které nelze odhalit běžnou vizuální kontrolou, ovlivňují však negativně mechanicko-fyzikální vlastnosti výstřiku. Musíme tedy s těmito vadami počítat a výstřiky náležitě kontrolovat. Ke skrytým vadám patří vnitřní pnutí (nejvýraznější je tepelné), vakuové bubliny a lunkry v průřezu výstřiku, uzavřený vzduch či jiné plyny (vznik bublin) v průřezu, anizotropie mechanicko-fyzikálních vlastností.

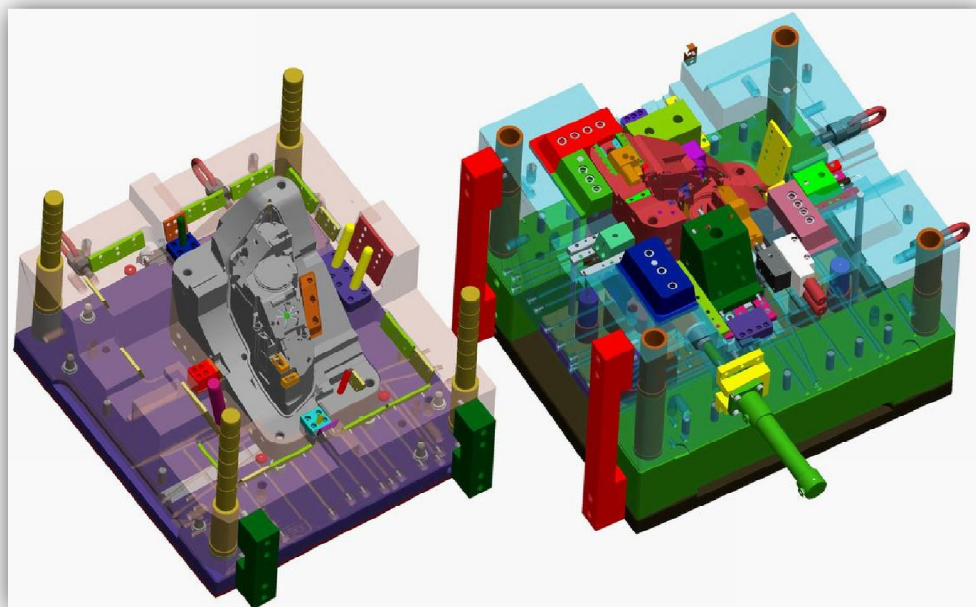
Kromě vad výstřiků se mohou objevit i vady vlastního vstřikovacího procesu, vady na stroji či vstřikovací formě, které ve svých důsledcích mohou přímo ovlivňovat výslednou kvalitu výstřiků a tedy i jejich vady. Jsou to např. nětesnost zpětného uzávěru šneku, špatný dosed trysky stroje na vtokovou vložku formy, zůstávání výstřiku na pevné části formy, špatné odvdzušnění formy atd.

2.2 Příčiny vzniku vad [1], [5], [13], [14]

Aby jsme mohli libovolnou vzniklou vadu odstranit, musíme znát její příčinu. Nejjednodušší a taky cenově nejméně nákladný způsob odstranění vad výstřiků je změna jednoho či více technologických parametrů procesu vstřikování (teploty, tlaky, ...). V případě, že závadu nelze změnou parametrů odstranit, je nutno hledat její příčinu v konstrukci vstřikovací formy, konstrukci výstřiku, vstřikovacího stroje či zpracovávaném materiálu. Při vstřikování je každý materiál jinak náchylný ke tvorbě vad, proto nelze jednoduše zobecnit pravidla pro některé typy vad související se strukturou zpracovávaného polymeru. Níže se v této kapitole budu zabývat jednotlivými příčinami vzniku vad.

2.2.1 Konstrukce vstřikovací formy [5], [13], [14]

Nesprávná konstrukce formy může být příčinou velkého množství vad, které bohužel ve většině případů nelze odstranit změnou technologických parametrů. Jako příklad lze uvést nedostatečnou tuhost formy, která může být způsobena konstrukční chybou, poddimenzováním částí formy, chybným výběrem materiálu formy, atd. Mezi další zdroje vad z důvodu chybné konstrukce formy řadíme např. nedostatečné odvětrání tvarové dutiny formy (vznik spálenin), poddimenzovaný a chybně zvolený vyhazovací systém, nevhodný temperační systém (vnitřní pnutí).



Obr. 13 Konstrukční model vstřikovací formy [5]

2.2.2 Konstrukce výstřiku [13], [14]

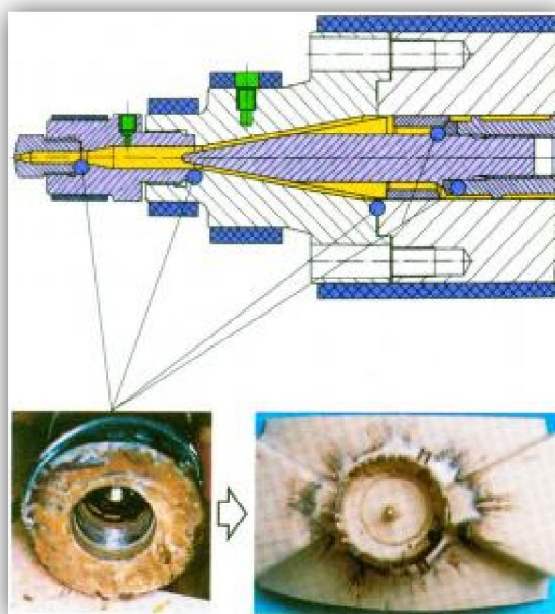
Konstrukce vstřikovaného dílu musí vždy odpovídat vlastnostem a chování zpracovávaného materiálu. Při návrhu plastového dílce se musíme vyvarovat především velkých změn tloušťek jednotlivých stěn, lokálnímu hromadění materiálu a velkým rovným plochám. Při návrhu plastového dílce postupujeme dle níže uvedených zásad, čímž snížíme pravděpodobnost výskytu jednotlivých vad.

1. Volit co možná nejmenší tloušťku stěny.
2. Při změně tloušťky stěny nevolit velké skoky nebo vytvořit přechod.
3. Vyhnout se hromadění materiálu.

4. Vyvarovat se rovným plochám.
5. Počítat se smrštěním a dosmrštěním dílu.
6. Geometrie otvorů a výřezů musí respektovat vlastnosti plastu.
7. Tolerance nevolit menší, než je nutné.
8. Pamatovat na umístění vtoku během návrhu.
9. Zohlednit omezení plynoucí z technologie při návrhu dílu.
10. Vyloučit podkosové úhly.
11. Počítat s dostatečnými úkosovými úhly.
12. Rohy a hrany opatřit rádiusy.
13. Navrhnout konstrukci žeber vhodnou pro plasty.

2.2.3 Vstřikovací stroj [13], [14]

Za předpokladu kvalitní konstrukce vstřikovací a uzavírací jednotky a bezchybné funkce řídicí jednotky bývá nejčastějším zdrojem vad opotřebení funkčních částí vstřikovací jednotky, jako např. špatné těsnění uzávěru šneku, výskyt mrtvých koutů, v nichž dochází k degradaci polymeru (zejména u trysky v přední části vstřikovací jednotky), nedokonalý dosed trysky (tryska podtéká a výstřik nelze snadno vyhodit z formy). V případě poruchy topení vstřikovací jednotky, nastává teplotní a viskozitní nehomogenita taveniny, která vede k dalším vadám vstřikovaného dílce.



Obr. 14 Opotřeбенá vstřikovací jednotka (mrtvé kouty) a vadný výstřik [13]

2.2.4 Zpracovávaný materiál [1], [13]

Vstřikovaný polymer (zejména jeho reologické chování) bývá zdrojem především vad vzhledových, v některých případech však může negativně ovlivnit též mechanicko-fyzikální vlastnosti výstřiku. Zdroje vad mohou být špatná tepelná stabilita polymeru (často vyvolaná různými aditivy, například retardéry hoření), velký rozptyl tokových vlastností v dávce taveniny, aj. Vliv na výskyt vad může mít také nevhodný tvar granulí plastu.

2.2.5 Technologické parametry procesu [1], [13]

Většina známých vad (zjevné i skryté) má původ ve špatně nastavených parametrech vstřikovacího procesu. Výhodou těchto vad je, že záměnou jednoho či více parametrů můžeme tyto defekty opravit. Pokud je to možné, volíme přednostně změnu parametrů s okamžitou reakcí na následný vstřikovací cyklus (tlaky, rychlosti, časy, otáčky šneku, ...). Jestliže tyto změny nevedou k odstranění vady, měníme též teploty (teplotu taveniny a teplotu formy). Změna teploty však vyžaduje více vstřikovacích cyklů k ustálení procesu.

2.3 Vady zjevné - vady tvaru, rozměrové vady [1], [13], [15], [16], [17]

Vady tvaru vstřikovaných dílů jsou bez pochyby velmi závažným problémem při výrobě plastových výstřiků. Vadou tvaru rozumíme takové defekty, u kterých tvar a rozměry dílu neodpovídají schválenému výkresu, 3D modelu či referenčnímu vzorku. Jedná se o díly deformované či narušené v důsledku výrobního procesu.

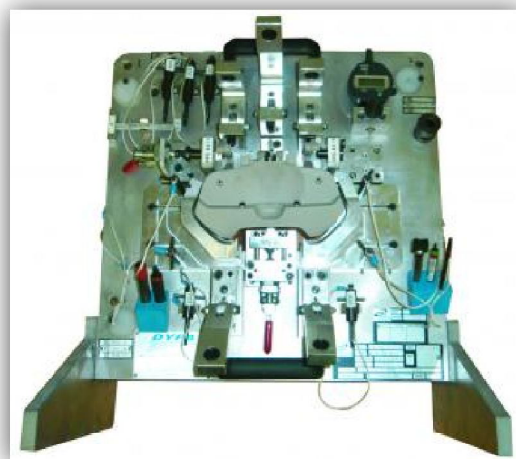
Na rozdíl od tvarových vad rozměrové vady souvisejí se smrštěním a anizotropií smrštění. Pro dodržení předepsaných rozměrů a tolerancí a také tvaru plastového výstřiku je důležitý návrh a konstrukce tvarové dutiny formy. Konstruktor vstřikovací formy musí počítat jednak se smrštěním, ale také s následným dosmrštěním, které probíhá po ukončení vstřikovacího procesu, viz kap. 1.2.2.

2.3.1 Měření rozměrů a tvarových deformací [13], [15]

Měření rozměrů a tvarových deformací plastových výstřiků se provádí nejdříve po 24 hodinách od vyjmutí výstřiku z formy při pokojové teplotě (výrobní smrštění, viz kap. 1.2.2). Používají se univerzální měřidla (posuvky, mikrometry), optická měřidla, speciální kalibry (kontrola závitů, ozubení) a další. Z hlediska přesnosti měření se dnes hojně využívá CNC 3D měřicí techniky, např. Wenzel XO 107 (Obr. 15). V automobilovém průmyslu se pro kontrolu tvaru a rozměrů jednotlivých dílů užívá speciálně zkonstruovaných měřících přípravků (Obr. 16). Budoucnost v tomto odvětví tvoří optické skenery, které umožňují porovnání 3D modelu s reálným výstřikem.



Obr. 15 CNC 3D měřicí stroj Wenzel XO 107 [15]



Obr. 16 Měřicí přípravek [13]

2.3.2 Studený spoj [1], [13], [16]

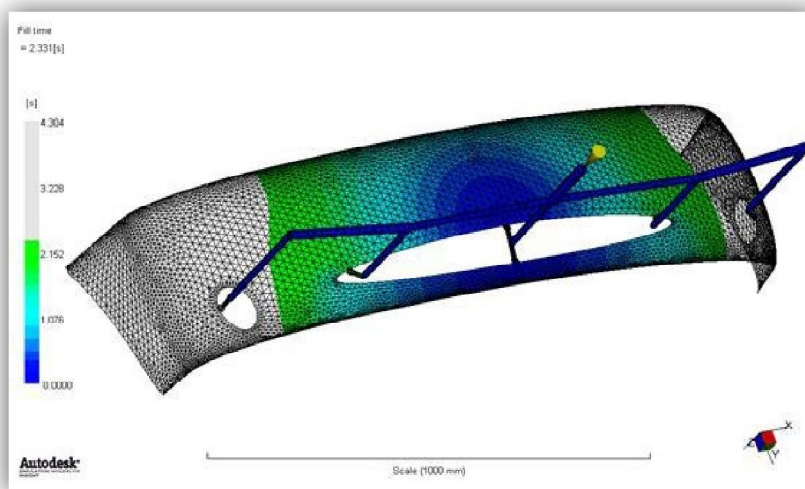
V následujících kapitolách se budu věnovat popisu jednotlivých vad, zdrojům těchto závad, příčinám a možnostem opravy, přičemž budu využívat zkratk a značek uvedených níže v tabulce č. 1. Ještě než přejdu k samotným tvarovým a rozměrovým vadám, popíšu vůbec nejproblematictější zjevnou vadu spojenou se vstřikováním plastů - studený spoj, a dvě vady s tímto defektem úzce související (meandrový tok, dieselekt). Jedná se ovšem spíše o vady vzhledové, kterým se budu věnovat dále v kap. 2.4. Studený spoj je jedna z nejzávažnějších vad provázející technologii vstřikování plastů. Tato vada způsobuje jednak pevnostní zeslabení výstřiku, ale zároveň se projevuje i jako vada vzhledová. Studené spoje vznikají vždy, když se hlavní proud taveniny vyplňující tvarovou dutinu formy v důsledku kontaktu s nějakým tvarovým prvkem (např. jádrem) rozdělí na dva nebo více toků a znovu se spojí buď čelně (primární studený spoj) nebo bočně či tangenciálně (sekundární studený spoj). Čelní spoj je z pevnostního i vzhledového hlediska vždy nebezpečnější.

U mechanicky namáhaných plastových dílů je pevnostní hledisko určující. Proto musíme dbát na prvotní výběr materiálu pro konkrétní aplikaci. Zatímco amorfnní polymery vykazují značné pevnostní zeslabení v místě studeného spoje, semikrystalické plasty jsou na tom z pevnostního hlediska studeného spoje podstatně lépe.

Konstrukce formy, vtokové soustavy a umístění vtokového ústí výrazně ovlivňuje tvorbu a polohu studených spojů. Pomocí simulačních programů můžeme snadno určit průběh plnicí fáze, v níž se studený spoj tvoří, a tedy i místo předpokládaného vzniku studeného spoje. V případě, že se nalézá v pevnostně namáhaném místě výstřiku, lze provést změnu polohy posunutím vtokového ústí či profilu vtokové soustavy. V případě velmi rozměrných výstřiků, jako jsou například nárazníky automobilů, lze využít tzv. kaskádového vstřikování (Obr. 18), které vznik studených spojů prakticky eliminuje.



Obr. 17 Sekundární studený spoj [13]



Obr. 18 Kaskádová vtoková soustava a simulace plnicí fáze vstřikovacího procesu (Mold Flow) v programu Autodesk [16]

Tab. 1 Zkratky jednotlivých parametrů. [1]

Zkratky jednotlivých parametrů			
T_T	Teplota taveniny	l	Dávka taveniny pro vstřík
T_F	Teplota formy	l_p	Velikost polštáře
p_v	Vstříkovací tlak	n	Otáčky šneku
p_d	Dotlak	V_T	Objemový proud taveniny
p_p	Protitlak	F_u	Uzavírací síla stroje
v_s	Vstříkovací rychlost	BP	Bod přepnutí na dotlak
t_d	Doba dotlaku	ITT	Index toku taveniny
t_{chl}	Doba ochlazování	η	Viskozita taveniny
t_v	Doba vstříkovacího cyklu		

Tab. 2 Studené spoje - příčiny vzniku, možnosti opravy. [1]

Zdroj závady	Příčina	Odstranění
Materiál	Nehomogenita materiálu (rozdílná tekutost materiálu)	Použít polymer s úzkým rozmezím ITT
	Barevná nehomogenita, tmavé odstíny	Použít světlejší barevné odstíny (vhodné jsou menší, kulovité pigmenty)
Technologie	Nízká T_T , T_F , v_s	Zvýšit T_T , T_F , optimalizovat v_s , p_d , t_d
Vstříkovací stroj	Nízká uzavírací síla F_u	Zvýšit F_u , přejít na větší stroj
Forma	Nevhodná vtoková soustava, nevhodná poloha ústí vtoku	Změnit polohu ústí, změnit tvar vtoku, u rozměrných dílů použít více vtoků
	Nedostatečné odvězdušnění v místě styku dvou nebo více proudů taveniny	Zvětšit odvězdušnění, drsnost povrchu, eventuálně udělat přetokovou jamku
	T_F v místě studeného spoje je nedostatečná	Zvětšit lokální ohřev v místě studeného spoje (např. systém Promold)
	Použití separátorů (zejména na bázi silikonového oleje)	Odstranit nevhodné separátory formy

2.3.3 Kresba po volném proudu taveniny (meandrový tok) [1], [13], [17]

Kresby po volném proudu taveniny vznikají při nevhodné konstrukci a umístění vtokového systému, nejčastěji u amorfních termoplastů. Jedná se opět o kombinaci vady vzhledové spojené s pevnostním zeslabením výstřiku v důsledku sekundárního studeného spoje. Princip vady je takový, že hlavní proud taveniny postupuje až na konec dutiny (místo klasického pohybu po stěnách), přičemž se od stěny dutiny odtrhne a pohybuje se jako volný paprsek. Spojení hlavního proudu s vedlejším pak nebývá dokonalé a tvoří se sekundární studené spoje.



Obr. 19 Volný proud taveniny [13]

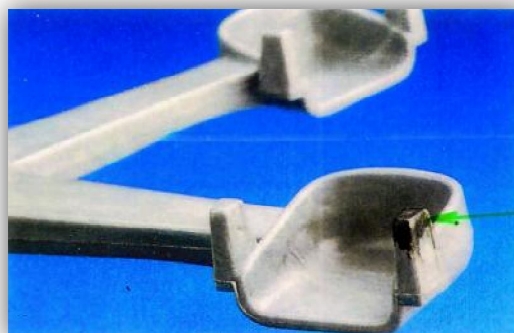
Tab. 3 Kresba po volném proudu taveniny - příčiny vzniku, možnosti opravy. [1]

Zdroj závady	Příčina	Odstranění
Materiál	Příliš malá tekutost taveniny (nízký ITT)	Použít polymer s vyšším ITT
Technologie	Příliš vysoký objemový průtok V_T (vysoká v_s), nízká T_T , vysoká T_F	Snížit V_T , T_F , zvýšit T_T , snížit či optimalizovat v_s
Forma	Nevhodná poloha vtoku, malé vtokové ústí směřované do volného prostoru	Změnit polohu a vyústění vtoku (nasměrovat proti stěně či umělé překážce), zvětšit ústí vtoku
	Nevhodný (ostrý) přechod mezi vtokem a tvarovou dutinou formy	Zaoblit přechod vtoku do tvarové dutiny formy

2.3.4 Místní spálení materiálu (dieseľefekt) [1], [13], [17]

Vzduch, který se nepodařilo při plnění formy odstranit, se v důsledku extrémního stlačení zahřívá a dochází tak k lokální degradaci či spálení materiálu. Na výstřiku v místě lokální komprese vzduchu vznikají nedoplněná místa a tmavé až černé stopy po spáleném materiálu. Tato vada vzniká při nedostatečném odvzdušnění a vysoké vstřikovací rychlosti. Může vzniknout také jako důsledek studeného spoje (styk dvou proudů taveniny - komprese vzduchu).

V místě uzavírání vzduchu (dělicí rovina) je nutno realizovat odvzdušňovací kanály (zejména v místech nejvíce vzdálených od ústí vtoku), jejichž tloušťka závisí na typu zpracovávaného polymeru a technologických podmínkách vstřikování. Hloubka odvzdušňovacích kanálů by však neměla být příliš velká, neboť by mohlo docházet k tvorbě otřepů a přetoků. Účinnost odvzdušnění závisí také na velmi dobré údržbě formy (důležitá je čistota odvzdušňovacích spár).



Obr. 20 Deseľefekt [13]

Tab. 4 Místní spálení materiálu - příčiny vzniku, možnosti opravy. [1]

Zdroj závady	Příčina	Odstranění
Materiál	Příliš nízká η taveniny	Použít polymer s nižším ITT
Technologie	Velký objemový proud taveniny V_T , vysoká v_s a T_T	Snížit V_T , v_s a T_T
	Velká dekomprese po plastifikaci	Snížit dekompresi
Vstřikovací stroj	Příliš velká F_u (těsná dělicí rovina)	Snížit F_u , přejít na menší stroj
Forma	Nevhodná poloha vtokového ústí	Změnit polohu vtokového ústí
	Nedostatečné odvzdušnění	Vyčistit, případně zvětšit odvzdušňovací drážky

2.3.5 Přestříky, přetoky, otřepy [1], [13], [17]

Přetoky a otřepy se tvoří, když se tavenina dostane i mimo vlastní tvarovou dutinu do mezer mezi jednotlivými částmi formy, kde ztuhne v podobě tenké blány. Nejčastějším místem tvorby přetoků je dělicí rovina formy, opotřebované nebo neslícované vyhazovače, případně příliš velké odvzdušňovací drážky. Příčinou tvorby přetoků může být např. nedostatečná uzavírací síla stroje nebo příliš vysoká tekutost hmoty. Tvorba otřepů může postupně vést k poškození těsnicích ploch formy.



Obr. 21 Přetok na výstřiku [13]

Tab. 5 Přestříky, přetoky, otřepy - příčiny vzniku, možnosti opravy. [1]

Zdroj závady	Příčina	Odstranění
Materiál	Příliš vysoký ITT (nízká η)	Použít typ polymeru s nižším ITT
Technologie	Vysoký p_v , p_d , v_s , T_T , T_F	Snížit p_v , p_d , v_s , T_T , T_F
		Posunout BP k nižším hodnotám
Vstřikovací stroj	Nízká F_u	Zvýšit F_u nebo přejít na stroj s vyšší F_u
	Po uzavření formy nepřepne stroj na plný tlak	Odstranit závadu v řídicím systému
Forma	Nedokonalé uzavírání formy vlivem nepřesností v dělicí rovině, znečištění, poškození, opotřebení dělicích rovin a lícovaných dílů	Zkontrolovat formu a závady odstranit
	Předimenzované odvzdušnění	Upravit odvzdušňovací drážky s ohledem na η taveniny

2.3.6 Neúplné výstřiky [1], [13], [17]

Neúplný výstřik vzniká, když tavenina při vstřikování tvarovou dutinu nevyplní celou a část dutiny tak zůstane prázdná. Zpravidla to bývá v nejvzádelnějším místě od ústí vtoku. Příčinou může být malá dávka taveniny, nedostatečný temperační systém, nesprávně navržený tvar výstřiku vzhledem ke vstřikovanému polymeru nebo nevhodné technologické podmínky vstřikovacího procesu.



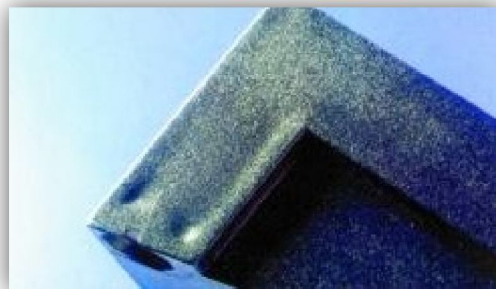
Obr. 22 Neúplný výstřik [13]

Tab. 6 Neúplné výstřiky - příčiny vzniku, možnosti opravy. [1]

Zdroj závady	Příčina	Odstranění
Materiál	Příliš nízký ITT (vysoká η)	Použít typ polymeru s vyšším ITT
Technologie	Nízké hodnoty p_v , p_d , t_d , T_T , T_F , v_s , l , l_p	Zvýšit hodnoty p_v , p_d , t_d , T_T , T_F , v_s , l , l_p
	BP v nižší oblasti tlaku	Posunout BP k vyšším hodnotám
Vstřikovací stroj	Zpětný uzávěr šneku netěsní	Vyčistit, opravit nebo vyměnit uzávěr
	Dávka značně přesahuje 4D šneku	Přejít na větší průměr šneku
	Tavenina na dosedu trysky zatéká	Zkontrolovat souosost a dosed trysky na vtokovou vložku
	Průměr trysky je malý	Zvětšit průměr trysky
Forma	Poddimezovaná vtoková soustava	Zvětšit vtoky, kanály, ústí vtoku, nebo použít více vtoků
	Odvzdušnění není funkční	Opravit odvzdušnění
	Nevyhovující temperační systém formy	Provéřit rozložení T_F , závadu odstranit
	U vícenásobných forem s nestejnou délkou toku se nezaplní vzdálené tvarové dutiny	Provést korekci vtokových ústí nebo změnit vtokovou soustavu, doporučuje se využít Mold Flow simulací
Výstřik	Tvar výstřiku, jeho rozměry (malá tloušťka stěny) jsou pro daný typ polymeru nevhodně zvoleny	Přizpůsobit tvar a rozměry zpracovávanému plastu, ověřit pomocí simulace Mold Flow

2.3.7 Propadliny, staženiny, zvlněný povrch [1], [13], [17]

Propadliny a staženiny jsou deformace ve stěně výrobku vzniklé v důsledku smrštění materiálu při jeho tuhnutí. Vyskytují se v místech akumulace hmoty, kde plast chladne pomaleji, např. v místě žeber. Příčinou je např. technologicky nevhodná konstrukce tloušťek stěn výstřiku.

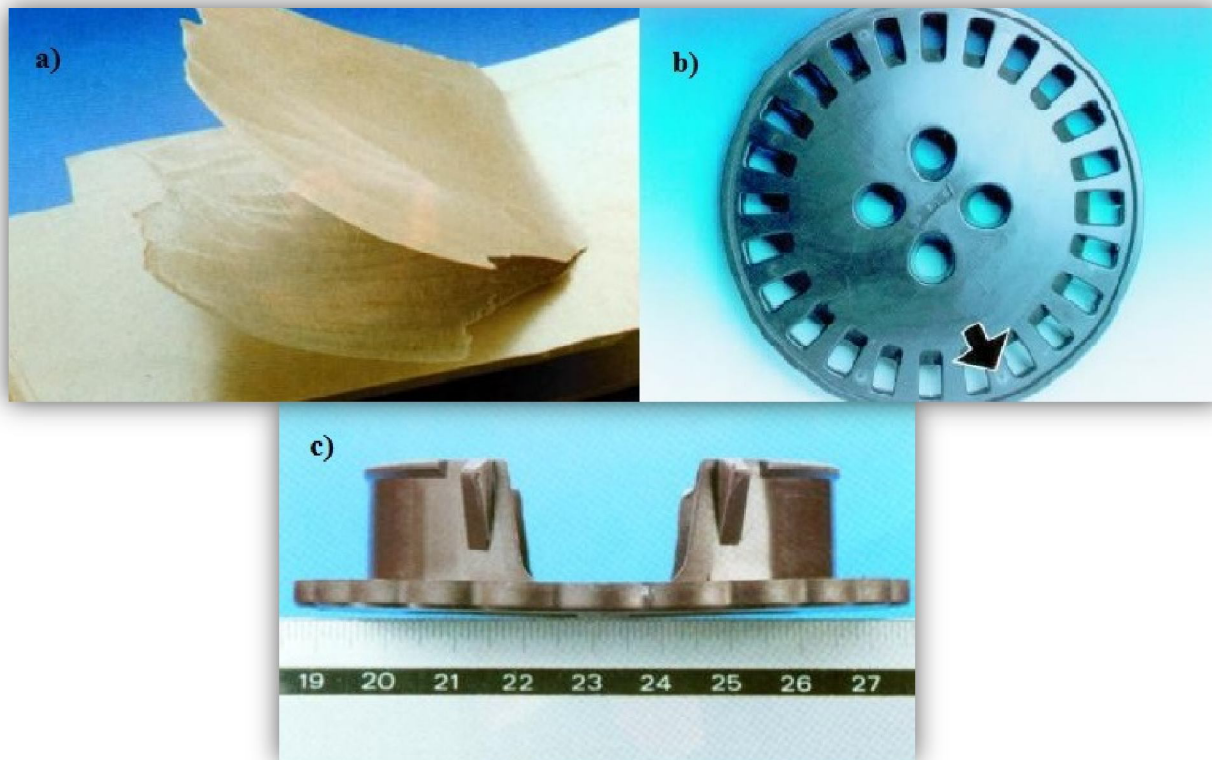


Obr. 23 Propadliny na výstřiku [13]

Tab. 7 Propadliny, staženiny, zvlněný povrch - příčiny vzniku, možnosti opravy. [13]

Zdroj závady	Příčina	Odstranění
Materiál	Nizký ITT (vysoká η)	Použít typ polymeru s vyšším ITT
		Provéřit zbytkovou vlhkost po vysušení
		U tlustostěnných dílů přidat nadouvadlo
Technologie	Zejména nízké hodnoty p_d , t_d , t_{chl}	Zvýšit hodnoty p_d , t_d , t_{chl} , upravit T_T , T_F , v_s , l , l_p , BP posunout k vyšším hodnotám
	Dále také nízká v_s , T_T , T_F , l , l_p , BP v nižší oblasti tlaku	
	Propadliny v oblasti vtoku	Upravit t_d , zvýšit p_d , snížit T_T , T_F , v_s
	Propadliny v oblasti vzdálené od vtoku	Upravit t_d , zvýšit p_d , T_T , T_F , v_s
Vstřikovací stroj	Poruchový zpětný uzavěr šneku	Vyčistit, opravit či vyměnit zpětný uzavěr
	Tavenina zatéká na trysce	Provést kontrolu souososti a dosedu trysky na vtokovou vložku formy
	Tavenina předčasně zamrzne v trysce	Zkontrolovat topení na trysce, zvětšit průměr trysky, zrušit trvalý dosed
Forma	Poddimenzovaná vtoková soustava	Zvětšit průřezy vtoku, rozváděcích kanálků, vtokového ústí
	Neúměrně dlouhé tokové dráhy	Provést změnu vtokové soustavy, využít horkých vtoků
	Nepravidelné rozložení teploty v tvarové dutině	Kontrola temperačního zařízení (opravit či vyměnit), kontrola odvodu tepla
Výstřik	Konstrukce výstřiku neodpovídá technologickým požadavkům (malá tloušťka, velká členitost)	Odstranit velkou nerovnoměrnost v tloušťce stěn, vyvarovat se příliš tenkým stěnám nebo velké tloušťce

Existuje celá řada dalších tvarových a rozměrových vad. Podrobným rozebíráním jednotlivých defektů bych ovšem značně překročil rozsah práce. Jako příklady ještě zmíním stopy po vyhazovačích, deformace výstříku v důsledku jeho vyhození z formy nebo delaminace povrchu výstříku.



Obr. 24 Tvarové a rozměrové vady a) delaminace povrchu, b) stopy po vyhazovačích, c) deformace výstříku v důsledku jeho vyhození z formy [13]

2.4 Vady zjevné - vzhledové vady [1], [13], [17]

Kvalitu plastových výrobků z velké části ovlivňuje také jejich vzhled a estetické provedení (design). Nejprísnější hledisko na úroveň vzhledu a kvality povrchu klademe u domácích spotřebičů a u pohledových dílů pro automobilový průmysl. Specifická kritéria pak platí pro díly optického charakteru např. světla automobilu.

Jelikož jsou u některých dílů kladeny velmi přísné požadavky na vzhled a kvalitu povrchu, musíme nastavit takové podmínky vstřikovacího procesu, které nám vady znehodnocující povrch plastového dílce vyloučí.

Vady povrchu většinou výrazně neovlivňují mechanicko-fyzikální či užité vlastnosti plastových dílů. Výjimku tvoří např. studené spoje (pevnostní zeslabení) nebo stopy po volném proudě taveniny (pevnostní zeslabení vlivem sekundárního studeného spoje). Tyto vady včetně tzv. dieselektu jsem již popsal v kap. 2.3.

V praxi se běžně setkáváme s celou řadou povrchových a vzhledových vad. Příčiny těchto vad nalézáme opět ve zpracovávaném materiálu, v technologických parametrech procesu, vstřikovacím stroji, vstřikovací formě a v nevhodné konstrukci plastového výstříku.

2.4.1 Tmavé body a šmouhy na povrchu výstřiku [1], [13], [17]

Jedná se o vměstky, neboli částice jiného materiálu s vlastnostmi odlišujícími se od vstřikovaného polymeru. Může se jednat o přepálený materiál, oxidy kovů (rez), prach apod. Vada je zřetelná hlavně na materiálech světlých odstínů.



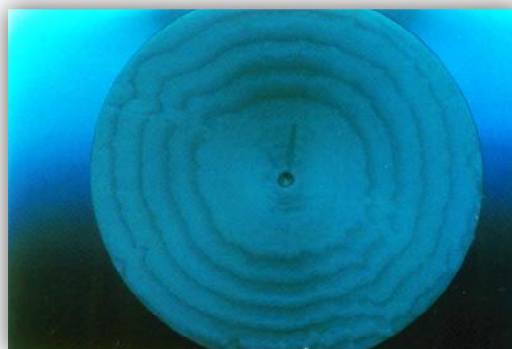
Obr. 25 Tmavé body na výstřiku [13]

Tab. 8 Tmavé body a šmouhy na povrchu výstřiku - příčiny vzniku, možnosti opravy. [1]

Zdroj závady	Příčina	Odstranění
Materiál	Znečištěný granulát (prach, cizí částice, příměs tmavých granulí)	Odstranit zdroj znečištění, zmenšit podíl regranulátu, prověřit aditiva
Technologie	Příliš vysoký p_p způsobí strhávání degradovaného plastu z mrtvých koutů	Snížit p_p , upravit n , teploty jednotlivých pásem vstřikovací jednotky
	Příliš vysoká T_T , dlouhá doba prodlevy	Snížit T_T , zkrátit dobu prodlevy (t_v)
Vstřikovací stroj	Cizí příměsi ve vstřikovací jednotce	Vyčistit plastifikační jednotku (čisticí směs)
	Mrtvé kouty v místě opotřebení plastifikačního válce, šneku a trysky	Vyhledat zdroje znečištění (opotřebení šneku, zpětný uzávěr, hlavu válce a přechody, trysku, horké kanály, vtokový systém, dosed na vtokovou vložku)
Forma	Znečištěná či zkorodovaná vtoková soustava a tvarová dutina formy, zanesený dezén, od vzdušnění a další	Vyčistit tvarovou dutinu a vtokovou soustavu, zkontrolovat funkci horkých trysek a rozvodů

2.4.2 Studené tokové linie (proudnice), tokové čáry [1], [13], [17]

Tokové čáry jsou na povrchu výstřiku zřetelné v podobě soustavy čar, které se oproti okolí liší jiným barevným odstínem, přestože se jedná o jeden druh plastu. Mají směr a charakter toku taveniny do dutiny formy, obvykle se vyskytují v okolí ústí vtoku. Příčinou bývají zchladlé nebo již ztuhlé částice vstříkovaného materiálu na stěnách vtokových kanálů připlavené do dutiny formy proudící taveninou.



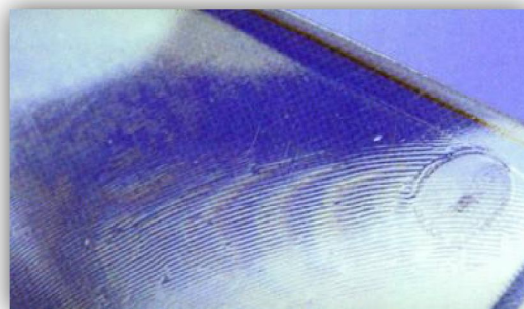
Obr. 26 Kruhové tokové linie [13]

Tab. 9 Studené tokové linie (proudnice), tokové čáry - příčiny vzniku, možnosti opravy. [1]

Zdroj závady	Příčina	Odstranění
Materiál	Příliš nízký ITT pro danou tloušťku a délku toku	Použít typy s vyšším ITT
	Vlhkost, znečištění, špatná stabilita materiálu	Provést kontrolu vlhkosti a znečištění, materiál vyměnit za suchý a čistý
Technologie	Příliš pomalý objemový proud taveniny (nízká T_T , T_F , v_s)	Zvýšit T_T (zejména T na předním pásmu a trysce), zvýšit T_F a v_s
	Špatně nastavený BP a dotlak	Upravit BP a dotlakovou fázi
	Nastavena vysoká dekomprese	Snížit dekompresi
Vstřikovací stroj	Značné tepelné ztráty na trysce	Přezkoušet topení trysky, zvětšit její průřez, eventuálně použít trysku uzavírací
	Nastaven trvalý dosed trysky	Zrušit trvalý dosed trysky, odjet dříve s plastifikační jednotkou
Forma	Značně nerovnoměrná T_F v oblasti tvarové dutiny	Provést kontrolu a rekonstrukci temperačního systému formy
	Nevhodná volba vtokového ústí	Upravit či změnit vtokovou soustavu, prodloužit vtokovou vložku formy

2.4.3 Rýhovaný povrch, vzhled gramofonové desky, pomerančové kůry [1], [13], [17]

Jemně rýhovaný povrch připomínající povrch gramofonové desky nebo pórovitý povrch podobající se pomerančové kůře je zapříčiněn příliš velkým odporem v dutině formy vznikajícím v plnicí fázi vstřikovacího procesu. Tavenina potom nevtéká do dutiny plynule, ale jakoby pulsuje.

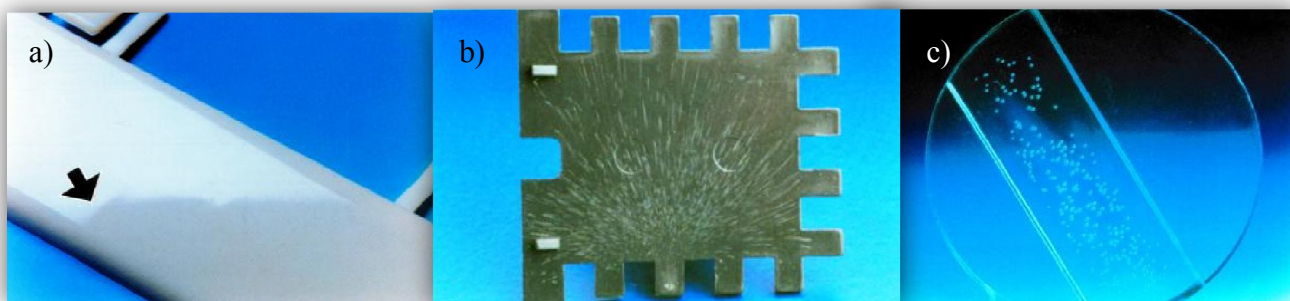


Obr. 27 Vzhled gramofonové desky [13]

Tab. 10 Rýhovaný povrch, vzhled gramofonové desky, pomerančové kůry - příčiny vzniku, možnosti opravy. [1]

Zdroj závady	Příčina	Odstranění
Technologie	Příliš vysoký odpor při plnění tvarové dutiny, vyvolaný nízkou T_T , T_F a V_T , resp. v_s	Zvýšit T_T , T_F , v_s
Vstřikovací stroj	Malý mísicí (hnětací) účinek	Zvýšit p_p , n
	Nevhodná geometrie šneku	Zvolit šnek s větším poměrem délky k průměru a s větším kompresním poměrem
Forma	Poddimezovaná vtoková soustava pro danou viskozitu taveniny	Zvětšit vtokové kanály a ústí vtoku, zabránit malým průřezům toku
	Nevhodný temperační systém	Provést úpravu temperačního systému, zvýšit průtokovou rychlost kapaliny

Stejně jako u vad tvarových a rozměrových, existuje celá řada dalších vad vzhledových, např. stopy po vlhkosti, stopy po uzavřeném vzduchu (více popsáno v kap. 2.5.4) nebo třeba rozdíly v lesku.



Obr. 28 Vzhledové vady a) rozdíly v lesku, b) stopy po vlhkosti, c) stopy po uzavřeném vzduchu u transparentních materiálů [13]

2.5 Vady skryté [1], [13], [17]

Skryté vady výstřiků většinou nelze odhalit pouhou vizuální kontrolou. Zjišťujeme je tedy pomocí vhodných laboratorních metod (nedestruktivní i destruktivní) použitím potřebného vybavení. Tyto vady jsou obzvláště nebezpečné neboť nejsou patrné na první pohled a negativně ovlivňují zejména pevnostní vlastnosti výstřiku.

2.5.1 Vnitřní pnutí [1], [13]

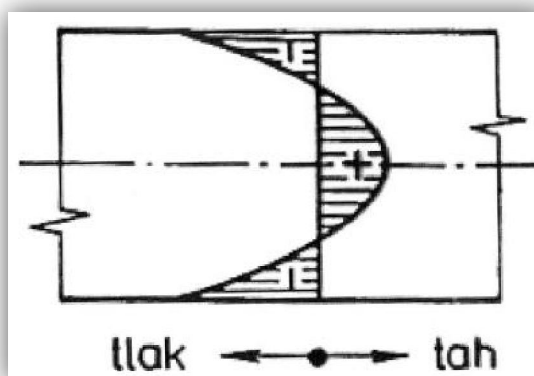
Vnitřní pnutí patří mezi nejzákladnější skryté vady. Jedná se o stav napjatosti ve výstřiku, který není vyvolán vnějším mechanickým zatížením, ale deformacemi vlivem nerovnoměrných objemových změn při vstřikování. Vzniká složitými procesy při proudění taveniny do formy a následným chladnutím.

Vnitřní pnutí je ovlivňováno zejména teplotami taveniny a vstřikovací formy, vstřikovacím tlakem, rychlostí plnění formy, dotlakem a dobou jeho působení a průběhem ochlazování.

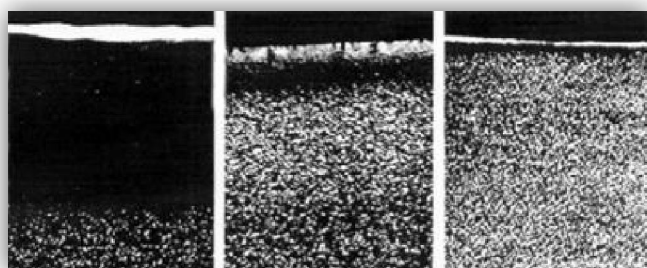
Příčiny pnutí mohou být opět v konstrukci výstřiku, vstřikovací formě, vstřikovaném materiálu nebo v technologii samotného vstřikovacího procesu. Stav napjatosti také ovlivňují dodatečné úpravy (temperování, kondicionování) a operace (svařování, obrábění) výstřiků.

Vnitřní pnutí u výstřiků členíme podle původu na tepelné pnutí, pnutí z nerovnoměrné orientace, pnutí z nerovnoměrné krystalizace a pnutí vlivem dotlakové fáze. Můžeme se setkat také s dalšími příčinami vnitřního pnutí např. pnutí vlivem efektu proudění, expanzní pnutí, aj., dominantní však zůstávají čtyři předchozí uvedené.

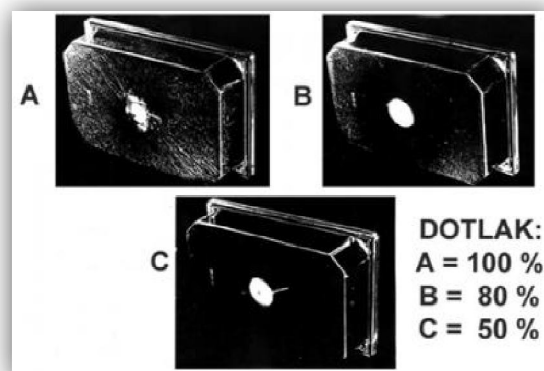
- **Tepelné pnutí** vzniká v důsledku nerovnoměrného ochlazování jednotlivých částí výstřiku (povrch chladne rychleji). Po ztuhnutí celého průřezu zůstává v povrchové vrstvě výstřiku pnutí tlakové a ve středu pnutí tahové.
- **Pnutí z nerovnoměrné orientace** vzniká jako důsledek rozdílné orientace makromolekul po průřezu výstřiku, případně podél tokové dráhy (vzdálenost od ústí vtoku). Toto pnutí bývá výrazné zejména u tenkostěnných výstřiků z amorfních termoplastů a často vede k nepravidelným deformacím a k povrchovým defektům.
- **Pnutí z nerovnoměrné krystalizace** vzniká následkem rozdílné krystalizace po průřezu výstřiku u semikrystalických termoplastů. Při rychlém ochlazení taveniny na stěně formy dochází v povrchových vrstvách k potlačení krystalizace, ve středu výstřiku jsou zachovány podmínky k plnému rozvinutí krystalické struktury (viz Obr. 29). Rozdílný je tedy nejen obsah krystalického podílu, ale i velikost a rozložení sférolitů (prostorové krystalické útvary). V důsledku toho se projeví tzv. skin-core efekt vyvolávající vnitřní pnutí.
- **Pnutí vlivem dotlakové fáze** vzniká při dotlaku a je úměrné jeho velikosti a době působení (viz Obr. 30).



Obr. 29 Rozložení vnitřního pnutí na průřezu výstřiku [13]



Obr. 30 Krystalická struktura výstřiků vstřikovaných při rozdílných teplotách formy - 28 °C (vlevo), 70 °C (uprostřed) a 90 °C (vpravo). [13]



Obr. 31 Vliv dotlaku na rozložení vnitřního pnutí výstřiků - velikost dotlaku: a) 100 %, b) 80 %, c) 50 % vstřikovacího tlaku. [13]

Všechny druhy pnutí se sčítají, takže výsledná napjatost je složitá a v objemu výstřiku nerovnoměrně rozložená. Kritická místa jsou zejména v okolí ústí vtoku, otvorů, vrubů, rozích, neboli v místech, kde dochází ke koncentraci napětí.

Z hlediska kvality výstřiků je vnitřní pnutí velmi nebezpečné, neboť může ovlivňovat tvarovou a rozměrovou stálost vstřikovaných dílů. V krajním případě dochází k destrukci výstřiku (viz Obr. 31), která nastává již při mnohem nižších napětích, než je mezní stav vstřikovaného materiálu. V ojedinělých případech, zejména v prostředí tenzoaktivních látek, k ní může dojít i samovolně.

Minimalizace vnitřního pnutí:

- **Volba materiálu** - Pro potlačení zejména pnutí z nerovnoměrné orientace upřednostňujeme tekutější typy polymerů. Omezíme tak vyšší smykové namáhání taveniny při vstřiku do formy.
- **Konstrukce výstřiku** - Pokud je to možné, vyhýbáme se extrémním rozdílům v tloušťce stěny, ostrým hranám a rohům, vrubům a zářezům. Negativně působí velký počet jader a tvarových částí s rozdílnou teplotou ve srovnání s požadovanou teplotou formy, čímž ovlivňují jednak vznik pnutí, ale i smrštění materiálu. Velkým zdrojem pnutí jsou vkládané kovové zálsky, které mají mnohem nižší teplotu, než je předepsaná teplota formy. Předehřevem těchto zálsků se nebezpečí vnitřního pnutí zmenší. Vnitřní pnutí ve výstřiku také vyvolává chybně navržený vyhazovací systém.
- **Technologické podmínky vstřikovacího procesu** - Největší vliv na vnitřní pnutí má ochlazovací a dotlaková fáze procesu vstřikování. Pro výrobu výstřiků s co nejmenším pnutím volíme co nejvyšší teplotu formy (potlačení tepelného pnutí) a minimalizujeme velikost a čas dotlaku. Minimalizace dotlakové fáze se obvykle provádí experimentálně, neboť výrazně ovlivňuje smrštění a tedy i rozměry vstřikovaného dílu.

2.5.2 Nerovnoměrná orientace makromolekul a plniv [1], [13]

U polymerních materiálů dochází při vstřikování v důsledku značného smykového namáhání k orientaci makromolekul nebo u vlákniny vyztužených termoplastů k orientaci vláken. Tato orientace je nežádoucí příčinou anizotropie vlastností (zejména pevnostních), smrštění a dodatečného smrštění. Má tedy značný vliv na tvarovou a rozměrovou stálost výstřiku.

Pro amorfní termoplasty obecně platí, že vyšší teplotou taveniny a vyšší vstřikovací rychlostí docílíme menší anizotropie smrštění výstřiku, neboť se sníží stupeň orientace ve směru toku taveniny. U semikrystalických polymerů není vliv výše zmíněných parametrů tak výrazný, neboť zásadní vliv na vlastnosti zde má obsah a rozložení krystalické struktury.



Obr. 32 Destrukce výstřiku v důsledku vnitřního pnutí [13]



Obr. 33 Deformace výstřiku vlivem anizotropie smrštění v důsledku nerovnoměrné orientace makromolekul [13]

2.5.3 Strukturní nehomogenita výstřiků [1], [13]

Strukturní nehomogenita výstřiků může být příčinou tvarových deformací a pevnostních rozdílů po jeho průřezu. Nedokonalá struktura, způsobená například vstřikováním do studené formy, může zapříčinit vážné problémy jak z hlediska rozměrové a tvarové stability, tak z hlediska mechanicko-fyzikálních vlastností. Jak již bylo výše zmíněno, ovlivňuje také vnitřní pnutí výstřiku.

2.5.4 Skryté vady netransparentních polymerů [1], [13]

U netransparentních materiálů se mimo jiné setkáváme s vadami uvnitř výstřiku, které většinou nenarušují kvalitu povrchu. Tyto vady vznikají především jako důsledek objemového smrštění taveniny, když povrchová vrstva již zatuhne a objemové smrštění pokračuje uvnitř horkého jádra výstřiku. Tyto vady se projevují zejména v místech akumulace hmoty (velká tloušťka stěny). Ve výstřiku pak v těchto místech vznikají lunkry (vakuoly, dutinky) nebo řediny. Z hlediska technologických parametrů je pro odstranění výše uvedených vad dominantní dotlaková fáze.

Dutinky ve výstřiku mohou být způsobeny též uzavřením vzduchu v důsledku nevhodného odvzdušnění nebo při příliš velké dávce taveniny. Lunkry, dutiny i řediny lze odhalit buď rozříznutím výstřiku nebo použitím nedestruktivních metod (ultrazvuk, rentgen).

5 ZÁVĚRY

Cílem této bakalářské práce byla literární studie vad výrobků při vstřikování termoplastů. V první části této práce byla provedena studie samotné technologie vstřikování. Na úvod první části práce pojednává o základní studii a rozdělení polymerních materiálů. Dále je důkladně popsána samotná technologie s důrazem na popis vstřikovacího cyklu. Nedílnou součástí této technologie je smrštění termoplastů a proto se další podkapitola věnuje právě tomuhle fenoménu. Dále je v práci popsána samotná vstřikovací forma. Jelikož kvalitu a jakost výstřiku společně s produktivitou práce nejvíce ovlivňuje vtokový systém, následuje studie této nedílné součásti vstřikovací formy. Na závěr první části je popsán vstřikovací stroj a jeho jednotlivé části.

Ve druhé části se práce zaměřuje na studii vad provádějících proces vstřikování plastů. Jako první tato práce pojednává o jejich rozdělení, přičemž základní rozdělení představují vady zjevné a vady skryté. Následuje popis možných příčin vzniku vad a to zejména konstrukce vstřikovací formy a samotného výstřiku, vstřikovací stroj, vstřikovaný materiál a technologické parametry vstřikovacího procesu. Dále se práce věnuje samotnému popisu jednotlivých zjevných vad, jejich příčinám a možnostem opravy. Vše je přehledně zpracováno do jednotlivých tabulek a doplněno vhodnými obrázky. Nejproblematictější zjevnou vadou je jednoznačně studený spoj a vady s ním související. Poslední kapitola představuje charakteristiku skrytých vad, jejich příčiny a opět možnosti jejich opravy či minimalizace. Důraz je zde kladen zejména na vnitřní pnutí, jenž patří mezi nejzákladnější skryté vady.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. Praha: BEN - technická literatura, 2009. ISBN 978-807-3002-503.
2. KOLOUCH, Jan. *Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1986.
3. LENFELD, Petr. *Technologie II: Část II - Zpracování plastů: Skripta.*: Technická univerzita Liberec [online]. 2008 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/obsah_plasty.htm
4. BĚHÁLEK, Luboš. *Polymery* [online]. Svitavy: publi.cz, 2016 [cit. 2017-05-24]. ISBN 978-80-88058-68-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/Cover.html>
5. LENFELD, Petr. *Technologie vstřikování* [online]. Svitavy: publi.cz, 2016 [cit. 2017-05-24]. ISBN 978-80-88058-74-8. Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/Cover.html>
6. *Celosvětová produkce plastů - obrázek* [online]. In: . Technická univerzita Liberec [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/tzn/c1/ZPL1.pdf
7. HYNEK, Martin. *Plastové díly: Horké vtoky* [online]. In: . Západočeská univerzita v Plzni [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: http://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publicace/KA05_Horke_vtoky.pdf
8. ŽÁK, Ladislav. *Vstřikovací formy* [online]. In: . [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/cviceni_soubory/htn_tvareci_nastroje_vstrikovaci_formy_zak.pdf
9. *SKD Bojkovice* [online]. [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://www.skd-bojkovice.cz/>
10. BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů: sborník přednášek*. Vyd. 2. Brno: UNIPLAST, 1999.
11. *Vstřikovací stroj Engel* [online]. In: . [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/konstrucni-provedeni-vstrikovacich-lisu.html>
12. SEIDL, Martin. *Stroje pro zpracování polymerních materiálů* [online]. Svitavy: publi.cz, 2016 [cit. 2017-05-24]. ISBN 978-80-88058-71-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/181/Cover.html>
13. NEUHÄUSL, Emil. MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM. Vady výstřiků 1.-6. díl. MM Průmyslové spektrum [online]. Praha: SEND Předplatné s.r.o, 2010 [cit. 2017-05-24]. ISSN 1212-2572. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanky.html>
14. ŘEHULKA, Zdeněk. *Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů*. Brno: Sekurkon, 2007. ISBN 978-80-86604-36-7.
15. *Měřicí stroj Wenzel - obrázek* [online]. In: . [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: http://www.wenzel-group.com/praezision/en/products/cmm/medium-3d-coordinate-measuring-machine-xorbit.php?we_ID=2877
16. *Kaskádová vtoková soustava - obrázek* [online]. In: . [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://www.plasticportal.cz/cs/vliv-orientace-vlaken-na-vlastnosti-vstrikovanych-dilu/c/1282>

17. *Základy zpracování polymerů: prezentace* [online]. Technická univerzita Liberec [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_magistri/NEkM/NEM.htm
18. HYNEK, Martin. *Plastové díly: Studené a živé vtokové systémy* [online]. In: . Západočeská univerzita v Plzni [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: http://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publicace/KA05_Studene_a_zive_vtokove_systemy.pdf
19. ŠVAMBERK, Michal. *Konstrukce vstřikovací formy pro výrobu plastových dílů: Vstřikovací forma - obrázek* [online]. In: . Západočeská univerzita v Plzni, 2013 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/9224049-Zapadoceska-univerzita-v-plzni-fakulta-strojni-bakalarska-prace.html>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
BP	Bod přepnutí na dotlak	[-]
F_p	Přisouvací síla stroje	[kN]
F_u	Uzavírací síla stroje	[kN]
ITT	Index toku taveniny	[g/10 min]
l	Dávka taveniny pro vstřík	[mm ³]
l_p	Velikost polštáře	[mm ³]
p_d	Dotlak	[MPa]
p_i	Vnitřní tlak dutiny	[MPa]
p_v	Vstřikovací tlak	[MPa]
p_z	Zbytkový tlak	[MPa]
S_{VV}	Výrobní objemové smrštění	[%]
t_d	Doba dotlaku	[s]
T_F	Teplota formy	[°C]
t_{chl}	Doba ochlazování	[s]
t_m	Manipulační doba	[s]
t_{pl}	Doba plastifikace	[s]
t_{s1}	Strojní čas	[s]
t_{s2}	Strojní čas	[s]
t_{s3}	Strojní čas	[s]
T_T	Teplota taveniny	[°C]
t_v	Doba vstřikovacího cyklu	[s]
V_F	Objem tvarové dutiny formy za teploty 23°	[mm ³]
V_T	Objemový proud taveniny	[mm ³]
V_V	Objem výstřiku za teploty 23°	[mm ³]
η	Viskozita taveniny	[N·s·m ⁻²]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Evropská spotřeba plastů dle jejich typů.....	11
Obr. 2 Příklady aplikací termoplastů a reaktoplastů.....	12
Obr. 3 Nadmolekulární struktura polymerů.....	13
Obr. 4 Příklad tvarově složitého dílu světloometu.....	13
Obr. 5 Průběh vnitřního tlaku p_i v dutině formy během procesu vstřikování.....	14
Obr. 6 Schéma vstřikovacího cyklu.....	16
Obr. 7 Změna rozměru výstřiku v závislosti na čase v důsledku smrštění.....	17
Obr. 8 Schéma vstřikovací formy se studeným vtokem.....	18
Obr. 9 Schéma studeného vtokového systému a příklad horkého vtoku.....	19
Obr. 10 Schéma vstřikovací jednotky.....	20
Obr. 11 Hydraulická uzavírací jednotka.....	21
Obr. 12 Vstřikovací stroj Engel.....	21
Obr. 13 Konstrukční model vstřikovací formy.....	23
Obr. 14 Opatřovaná vstřikovací jednotka (mrtvé kouty) a vadný výstřik.....	24
Obr. 15 CNC 3D měřicí stroj Wenzel XO 107.....	25
Obr. 16 Měřicí přípravek.....	25
Obr. 17 Sekundární studený spoj.....	26
Obr. 18 Kaskádová vtoková soustava a simulace plnicí fáze vstřikovacího procesu.....	26
Obr. 19 Volný proud taveniny.....	28
Obr. 20 Dieselefekt.....	28
Obr. 21 Přetok na výstřiku.....	29
Obr. 22 Neúplný výstřik.....	30
Obr. 23 Propadliny na výstřiku.....	31
Obr. 24 Tvarové a rozměrové vady.....	32
Obr. 25 Tmavé body na výstřiku.....	33
Obr. 26 Kruhové tokové linie.....	34
Obr. 27 Vzhled gramofonové desky.....	35
Obr. 28 Vzhledové vady.....	35
Obr. 29 Rozložení vnitřního pnutí na průřezu výstřiku.....	36
Obr. 30 Krystalická struktura výstřiků vstřikovaných při rozdílných teplotách formy.....	37
Obr. 31 Vliv dotlaku na rozložení vnitřního pnutí výstřiků.....	37
Obr. 32 Destrukce výstřiku v důsledku vnitřního pnutí.....	38
Obr. 32 Deformace výstřiku vlivem anizotropie smrštění.....	38

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Zkratky jednotlivých parametrů	27
Tab. 2 Studené spoje - příčiny vzniku, možnosti opravy	27
Tab. 3 Kresba po volném proudu taveniny - příčiny vzniku, možnosti opravy.....	28
Tab. 4 Místní spálení materiálu - příčiny vzniku, možnosti opravy.....	29
Tab. 5 Přestříky, přetoky, otřepy - příčiny vzniku, možnosti opravy.....	29
Tab. 6 Neúplné výstřiky - příčiny vzniku, možnosti opravy	30
Tab. 7 Propadliny, staženiny, zvlněný povrch - příčiny vzniku, možnosti opravy	31
Tab. 8 Tmavé body a šmouhy na povrchu výstřiku - příčiny vzniku, možnosti opravy	33
Tab. 9 Studené tokové linie, tokové čáry - příčiny vzniku, možnosti opravy	34
Tab. 10 Rýhovaný povrch - příčiny vzniku, možnosti opravy.....	35